

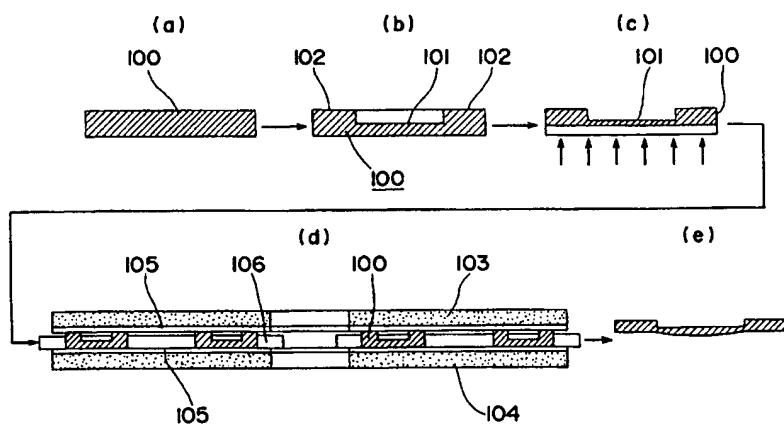
PCT

世界知的所有権機関
国際事務局
特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類7 H01L 41/08, 41/22, H03H 9/19	A1	(11) 国際公開番号 WO00/57494
		(43) 国際公開日 2000年9月28日(28.09.00)
(21) 国際出願番号 PCT/JP00/01691		(81) 指定国 AU, BR, CA, CN, HU, ID, IL, IN, KR, MX, NO, NZ, PL, SG, TR, US, ZA, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)
(22) 国際出願日 2000年3月17日(17.03.00)		添付公開書類 国際調査報告書
(30) 優先権データ 特願平11/116957 特願平11/140557 特願平11/324492 特願平11/324493	JP JP JP JP	1999年3月19日(19.03.99) 1999年4月12日(12.04.99) 1999年10月9日(09.10.99) 1999年10月9日(09.10.99)
(71) 出願人 ; および (72) 発明者 長浦善昭(NAGAURA, Yoshiaki)[JP/JP] 〒818-0041 福岡県筑紫野市大字上古賀246番1号 コンフォート天拝104号 Fukuoka, (JP)		
(74) 代理人 小堀 益, 外(KOHORI, Susumu et al.) 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目1番1号 博多新三井ビル401号 Fukuoka, (JP)		

(54)Title: PIEZOELECTRIC ELEMENT AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

(54)発明の名称 圧電素子及びその製造方法



(57) Abstract

A plurality of recesses (101) are formed by etching in the center of a quartz plate (100) obtained by polishing an electronic material such as a quartz plate, silicon or gallium arsenide by using a double-side polishing machine, single-side polishing machine or other polishing machines, a chemical etching such as an RIE is conducted from a side opposite to the recess-formed surface of the quartz plate to remove about several tens of μm , and then irregularities of several μm produced by a chemical etching such as an RIE, a dry etching such as an ion milling or a plasma etching or a chemical wet etching are again polished by using a double-side polishing machine, single-side polishing machine, float polishing machine or other polishing machine to form a convex lens-form oscillation portion on a plane side opposite to the recesses.

(57)要約

水晶板、シリコン又はガリウムヒ素などの電子材料を、両面研磨加工機械、片面研磨加工機械又はその他の研磨加工機械を使用して研磨加工した水晶板(100)の中心にエッティング加工により複数の凹部(101)を形成し、この水晶板の凹部形成面とは反対面から、RIE加工などの化学的なエッティング加工を行って数10μm前後を除去した後、RIE加工などの化学的なエッティング加工、イオンミーリング又はプラズマエッティング加工などのドライエッティング加工又は化学的なウェットエッティング加工によって発生する数μmの凸凹を、再度両面研磨加工機械、片面研磨加工機械、フロートポリシング機械又はその他の研磨加工手段によって研磨加工し、凹部とは逆の平面側に凸レンズ状振動部分を形成する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スードан
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジラント
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルギニア・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴー
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドavia	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサオ	ML	マリ	TT	トリニダッド・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	MN	モンゴル	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UA	ウクライナ
CG	コンゴー	ID	インドネシア	MW	マラウイ	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MX	メキシコ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MZ	モザンビーク	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ベトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴースラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
DK	デンマーク	KR	韓国				

明細書

圧電素子及びその製造方法

技術分野

5 本発明は、水晶振動子、加速度センサー又は角速度センサーその他の電子材料に用いることのできる圧電素子及びその製造方法に関する。

背景技術

圧電素子の一種である水晶振動子は、通信機器や計測機器の基準周波数の発10 振源をはじめ、汎用コンピュータ、OA情報機器、家電製品用のマイコンのクロック発生など、その用途は多岐にわたっている。現在、情報の処理・伝達能力の高性能化のため、振動子の厚さを薄くし、その固有振動周波数を上昇させることが求められている。

また高品質の振動子を得る目的で、水晶振動子をレンズ形状に仕上げること15 が提案され、比較的低い周波数領域では実績を上げている。

しかしながら、振動子の厚さを薄くする場合の問題として、両面ラップ盤による製造法では、現在 $24.0 \mu\text{m}$ ($\approx 70 \text{ MHz}$) に製造の限界がある。

また、振動子を、レンズ形状に仕上げる場合では、薄片上に、曲面を創成することは非常に困難であり、今まで製作された例がなかった。

20 さらに、従来の、地震探査・予知には、現在、海洋観測、石油、メタンガス、金、銀、ダイヤモンドなどの地下構造探査、地球磁気観測、GPSによる観測、2点間の距離のレーザ測定による、地核の移動測定などが行われているが、地震や津波による、空気の振動を観測することも、一つの予知方法である。

空気の振動を、記録や分析が、容易な電気信号に変換する手段として、集音25 マイクがあるが、雑音を拾いやすく、目的の振動数の音波を検出することが困難である。

発明の開示

そこで本発明が解決しようとする第1の課題は、従来困難とされた、製造限界の厚みよりも薄い圧電素子及びその製造方法を提供することである。

また第2の課題は、雑音を拾いにくく、目的の振動数の音波を高精度で検出
5 できる音響-電気変換器を提供することである。

前記第1の課題を解決するための本発明の圧電素子の製造方法は、圧電素子基板の一面に化学的なエッチング加工を行って凹部を形成し、この凹部加工面とは反対面をイオンエッチング加工して前記凹部の底面の厚みを薄くし、この圧電素子基板の両面を機械加工で研磨することにより、前記イオンエッチング
10 加工で発生した凹凸を除去すると共に前記凹部に凸レンズ状振動部を形成することを特徴とするものである。

図100は本発明の加工方法を示すものである。まず、人工水晶から厚さ50 μm の水晶基板100(図100(a))をカットし、次いで同基板の片面(上面)の一部をフッ化水素を使ったエッチングで溶かして断面から見て凹形
15 のくぼみ101を作る(図100(b))。このくぼみ101の底面から水晶基板100の下面までの薄い部分が高周波を生み出す振動部、残りの部分が電極を付けるフレーム部102となる。ここまででは従来の製法と同じである。

続いて、水晶基板100の下面全体をフッ素ガスを利用したイオンエッティングで加工し、同基板をさらに薄くする(図100(c))。イオンエッティングとは、プラズマ状態にして結合を切ったフッ素ガスの原子に電圧をかけて加速、水晶基板100にぶつけて表面の二酸化ケイ素中ケイ素の原子をはじき出す加工法である。

化学エッティングだけでは上述のように厚さを20 μm にしかできない。その後、イオンエッティングを経て10.3 μm 程度に薄くする。目指す厚さは10 μm である。しかし、イオンエッティングを使ってもその目標には届かない。イオンエッティングは薄くできる半面、原子同士の衝突を利用することから単結晶の表面に非結晶成分や原因不明の欠陥である「イオンダメージ層」を残す弱点があるためである。同層は0.2~0.3 μm の厚さを持つ。

そこで、機械研磨を行う。0. 3 μm 程度の削りしろを残し、最後の両面研磨（図100（d））に移る。両面研磨盤は遊星歯車機構と似た構造とする。まず、遊星歯車に相当し、自転しながら公転する鋼製のキャリア106に水晶基板100を収め、下定盤104と上定盤103との間に挟む。両定盤には発泡ポリウレタンの研磨パッド105を貼り付ける。

ここで水に溶かした酸化セリウムの砥粒を流しながら、キャリア106で保持した水晶基板100を上下定盤103, 104の間を自転させるとともに上定盤103を回転すると、水晶基板100の上下両面が磨かれる。

図100（e）に示すように、この両面研磨工程後の水晶基板100は、下面が曲率を持って膨んで凸状レンズの形となる。こうしたレンズ形状にすれば電子機器が誤作動を起こす原因となる余分な振動（副振動）をなくし、より安定した振動を得ることができることが分かっている。

なぜレンズ形状になるのか、その理由を図101を参照して説明する。

研磨量は研磨圧力に比例する。イオンエッチング後の凹形水晶基板100は、フレーム部102が上下両定盤103, 104から大きな研磨圧力を受け、振動部となる凹部101は下定盤104のみから小さな研磨圧力を受ける。しかも、凹形構造だから凹部101が受ける研磨圧力は中心部に向かうほど小さくなる〔図101（a）〕。従って、研磨量は凹部101の中心で最小、フレーム部102で最大となり、両部分の間の研磨量は球面の一部のように曲率を持つて変化する。その結果、凸レンズ形状の水晶振動子ができる〔図101（b）〕。最も厚いレンズ中央部の厚さが10 μm である。

理解できるように、両面研磨工程では0. 3 μm しか削っていない。このわずかな研磨量で、上記のダメージ層を取り除き、凸レンズ形状に加工するのである。いわば、エッチングとイオンエッチングが粗加工、両面研磨が仕上げ加工である。

本発明は、これらの研磨方法を組み合わせることにより、従来の技術の製造限界の厚みよりも薄い圧電素子が製造でき、さらに、凸レンズ状の振動部により、副振動のない安定した振動を得ることができる。

本発明の第2の課題を解決するための本発明の音響-電気変換器は、円筒の中央部に圧電効果を有する材質からなる受圧面を形成し、その受圧面に、一对の電極を形成したものである。

さらに、本発明の音響-電気変換器の製造方法は、圧電効果を有する材質からなる丸棒の両端部から、それぞれ、研削手段を用いて、円筒形状の穴を開け、前記丸棒の、中央部に、所定の厚みの受圧面を形成し、その受圧面に、一对の電極を設けて外部の空気振動を、増幅した電気信号に変換するものである。

研削手段は、樽状の砥石の表面に溝を形成し、その溝に、圧縮空気又は液体を噴射することで、前記砥石を回転させるか、またはその他の機械的な手段を10 使用して、前記樽状の、砥石を回転させるものとすることができる。又、真球に近い鋼球を使用して、樽状の砥石を形成することもできる。

図面の簡単な説明

図1は本発明の加工方法の概略を示す説明図である。

15 図2は水晶振動子の製作例1を示すもので、(a)は振動子の断面形状、(b)は振動子のノマルスキマイクログラフ、(c)はリアクタンス周波数特性を示すものである。表材はATカットで、素材の厚みは103μm、径は5mm、加工寸法は厚さ25μm、曲率半径は30mmである。

20 図3は水晶振動子の製作例2を示すもので、(a)は振動子の断面形状、(b)はリアクタンス周波数特性を示すものである。表材はATカットで、素材の厚みは103μm、径は5mm、加工寸法は厚さ9μm、曲率半径は200mmである。

25 図4は水晶振動子の製作例3を示すもので、(a)は振動子の断面形状、(b)はリアクタンス周波数特性を示すものである。表材はATカットで、素材の厚みは77μm、径は5mm、加工寸法は厚さ27μmである。

図5は表材はATカットで、厚みが厚い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図6は表材はATカットで、厚みが厚い水晶振動子のリアクタンス周波数特

性図である。

図 7 は表材は A T カットで、厚みが薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

5 図 8 は表材は A T カットで、厚みが薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 9 は表材は A T カットで、厚みがさらに薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 10 は表材は A T カットで、厚みがさらに薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

10 図 11 は本発明の加工方法における第 1 の加工補助具の断面図である。

図 12 は本発明の加工方法における第 2 の加工補助具の断面図である。

図 13 は第 1 の加工補助具に第 2 の加工補助具と水晶板をセットした状態の断面図である。

図 14 は本発明の加工装置の他の例を示す断面図である。

15 図 15 は本発明の加工装置の他の例を示す断面図である。

図 16 は本発明の加工装置をラッピングプレートに挟んだ状態を示す断面図である。

図 17 は本発明の加工装置における、他の加工補助具の平面図である。

図 18 は図 13 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

20 図 19 は図 13 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

図 20 はラッピングプレートの運動を示す平面図である。

図 21 はラッピングプレートの運動を示す平面図である。

図 22 は本発明の実施例を示す上面図である。

図 23 は本発明の実施例を示す断面図である。

25 図 24 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 25 は本発明の加工装置の例を示す断面図である。

図 26 は図 25 、又はその他の装置で製作された水晶板の断面図である。

図 27 は加工補助具の他の例を示す断面図である。

図 2 8 は加工補助具の他の例を示す断面図である。

図 2 9 は加工補助具の他の例を示す断面図である。

図 3 0 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 3 1 は本発明の実施例を示す上面図である。

5 図 3 2 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 3 3 は本発明の実施例における加工工具を示す側面図である。

図 3 4 は本発明の実施例における砥石の実施例を示す側面図及びその A - A 断面図である。

図 3 5 は本発明の実施例における加工された実施例を示す断面図である。

10 図 3 6 は本発明の実施例における砥石の他の例を示す側面図及び平面図である。

図 3 7 は本発明の実施例における加工工具の他の例を示す断面図である。

図 3 8 は本発明の実施例における加工工具の他の例を示す断面図である。

図 3 9 は本発明の実施例における加工工具の他の例を示す断面図である。

15 図 4 0 は本発明の実施例における加工工具の、実際の製作図を示す側面図及び上面図である。

図 4 1 は本発明の実施例における加工工具の、実際の製作図を示す拡大図の断面図及び側面図である。

図 4 2 は本発明の実施例における加工された実施例を示す断面図である。

20 図 4 3 は本発明の実施例における加工された実施例を示す断面図である。

図 4 4 は図 1 3 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

図 4 5 は図 1 3 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

図 4 6 は図 1 4 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

図 4 7 は本発明の実施例を示す断面図である。

25 図 4 8 は本発明の実施例を示す上面図である。

図 4 9 は本発明の実施例を示す上面図である。

図 5 0 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 5 1 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 5 2 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 5 3 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 5 4 は本発明の実施例を示す断面図である

図 5 5 は本発明の実施例を示す断面図である。

5 図 5 6 は本発明の実施例を示す断面図である。

図 5 7 は素材はA Tカットで、厚みが、薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 5 8 は素材はA Tカットで、厚みが、一段と薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

10 図 5 9 は素材はA Tカットで、厚みが、一段と薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 6 0 は素材はA Tカットで、厚みがさらに、一段と薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 6 1 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

15 図 6 2 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 6 3 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 6 4 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 6 5 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

図 6 6 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

20 図 6 7 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

図 6 8 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

図 6 9 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

図 7 0 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

図 7 1 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

25 図 7 2 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 7 3 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 7 4 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 7 5 は素材はA Tカットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を形成した

表面の形状を測定した測定図である。

図 7 6 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を形成した裏面の形状を測定した測定図である。

図 7 7 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を Wet 5 Etching 加工にて形成した水晶板のリアクタンス周波数特性図である。

図 7 8 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を Wet Etching 加工にて形成した水晶板を、機械的な研磨加工手段を使用して加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

図 7 9 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

10 図 8 0 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 8 1 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 8 2 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 8 3 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

15 図 8 4 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を Wet Etching 加工にて形成した水晶板を研磨加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

図 8 5 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を Wet Etching 加工にて形成した水晶板を、機械的な研磨加工手段を使用して加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

20 図 8 6 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を Wet Etching 加工にて形成した水晶板を、機械的な研磨加工手段を使用して加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

図 8 7 は素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を形成した表面の形状を測定した測定図である。

25 図 8 8 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 8 9 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 9 0 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 9 1 は本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

図 9 2 は表材は A T カットで、厚みが厚い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 9 3 は表材は A T カットで、厚みが厚い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図と、それを発振させた、Single Inverted Mesa Type の、水晶振動子の、
5 上面図と、縦断面図である。

図 9 4 は表材は A T カットで、厚みが薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

図 9 5 は水晶振動子を、干渉顕微鏡で形状を測定した、形状測定図である。

図 9 6 は表材は A T カットで、厚みが薄い水晶振動子のリアクタンス周波数
10 特性図である。

図 9 7 は Peak to Valley (P - V) の変化を示した、グラフである。

図 9 8 は Single Inverted Mesa Type に形成された、凸レンズ形状の、曲率半径の、逆数の変化を示した、グラフである。

図 9 9 は Single Inverted Mesa Type の、Concave 側の中心部分の、表面粗さ
15 の変化を示した、グラフである。

図 1 0 0 は本発明の製造工程を示す流れ図である。

図 1 0 1 は本発明による圧電素子の凸レンズ形状が形成される説明図である。

20 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について説明する。

本発明者は、研削加工法に分類される、新しい加工法を開発し、厚さ $9 \mu\text{m}$ の片凸レンズ状 (Plano-convex 型) 水晶振動子の製作に成功した。さらに、水晶振動子の高性能化を目的として、厚さ $500 \mu\text{m}$ 以下の振動子について、厚
25 さと電気的特性の関係を調査した。

水晶は硬脆材料であるため、適応できる加工法は、機械的なラッピング加工あるいは、化学的な Wet エッチング加工に限定されると考えられていた。そのため、高周波用水晶振動子の加工には、研削加工法は、ほとんど用いられて

いない。

本発明者が開発した研削加工法は、図1に示すように、鋼球にダイヤモンド砥粒57を電着固定したボール砥石1を用いる方法である。すなわち、超精密旋盤の主軸2に取り付けた円筒形状磁石3上に水晶板4を張り付け、研削スピンドル5の先端には、球が乗る座を設けた工具保持具6を取り付けている。これを円筒形状磁石3に近づけると、磁気誘導によって、鋼球は工具保持具6に吸引保持される。工具保持具6が、円筒形状磁石3の直径よりも小さくなっているため、磁束密度が、ボール砥石1と円筒形状磁石3間よりも、ボール砥石1と工具保持具6間の方が、大きくなっている。このため、ボール砥石1は工具保持具6に強く吸引され、高速回転しても外れずに、強力に一体化する。

この鋼球には、ダイヤモンド砥粒57が電着固定され、ボール砥石1となつておらず、鋼球は、円筒形状の工具保持具6に、磁力で保持されているので、容易に砥石の交換ができる。しかも、円筒形状の工具保持具6と、精度のよい鋼球を用いているので、交換時必要であった、砥石1の芯合わせの作業も、不要である。したがって、粗加工から、仕上げ加工に使用するボール砥石1の交換を、迅速に行うことができる。このボール砥石1の運動はNC装置で制御されるので、曲面の創成も可能である。

また、ボールベアリングなどに使用する鋼球で出来ているボール砥石1に電着固定されるダイヤモンド砥粒57の直径は、例えば、粗加工に使用する場合は $30\text{ }\mu\text{m}$ 、中仕上に使用する場合は $16\text{ }\mu\text{m}$ 、仕上に使用する場合は $4\text{ }\mu\text{m}$ というように加工工程によりそれぞれ異なる。ダイヤモンド砥粒57の直径が加工工程により異なるので、主軸2側の円筒形状磁石3の磁気誘導を使用して、ボール砥石1を円筒形状の工具保持具6に吸着保持させると、それぞれの、ダイヤモンド砥粒57の直径が異なる分だけ、ボール砥石1の中心点が縦方向に移動する。

この問題点の解決手段としては、図1(b)に示しているように、工具保持具6により保持されるボール砥石1の保持部分56のエリアだけを、ダイヤモンド砥粒57を電着固定しないようにする。そうすれば、図1(c)に示して

いるように、ダイヤモンド砥粒 57 の直径の太さに関係なく、ポール砥石 1 の縦及び横方向の x、y 軸、特に縦方向の x 軸の中心軸は常に不動となるので、粗仕上用の砥石のポール砥石 1 と、中仕上用の砥石のポール砥石 1 と、仕上用の砥石のポール砥石 1 の交換が容易となる。

5 本発明者は、この加工法を使って、図 2 (a) に示すように、保持部分 51 と、溝 52 を一体成型した、Plano-convex 型の加工に成功した。保持部分 51 と、溝 52 を結ぶ曲線は、スムーズライン 53 と呼ばれる。その形状は、図 2 (b) に示すように、水晶円板の中央部が研削加工され、厚さ $25 \mu\text{m}$ 、曲率半径 3 mm 、形状誤差 $0.1 \mu\text{m}$ 以下のレンズ形状である。従来、この形状の水晶振動子は、副振動を伴い易く、十分な性能が発揮できないとされていた。
10 しかし、図 2 (c) から明らかなように、そのリアクタンス周波数特性は、鋭い共振曲線を描き、副振動を全く伴わないことから、水晶振動子として、理想に近いことが理解される。

更に薄い水晶振動子の製作を試み、厚さ $9 \mu\text{m}$ 、曲率半径 200 mm の、水晶振動子の加工に成功した。これに、酸化セリウムによる、研磨加工を加えて、表面をさらに $0.5 \mu\text{m}$ 程度除去した結果、図 3 (a) に示すような素子を得た。そのリアクタンス周波数特性は、図 3 (b) に示すように、共振曲線は、やや鋭さを欠き、図 2 の水晶振動子と比較すると、Q がやや小さいことを示唆しているが、副振動は全く伴っていない。共振曲線が鋭さを欠く原因として、水晶振動子表面下には、加工によるダメージが内在していることが予想され、水晶振動子の厚さが、薄くなることによって、相対的に、ダメージ層の厚さの比率が増したためと考えられる。しかし、このダメージ層をエッティング法で除去することにより、特性の改善は可能である。

25 次に、Plano-convex 型の水晶振動子の曲率半径が 30 mm 一定の条件で、レンズ部分の厚さを増加させることを試みた。厚さ $125 \mu\text{m}$ に達するまで、図 2 と類似な副振動を伴わない、鋭い共振曲線が維持された。しかし、それを越えると、副振動を伴ったり、振動しなくなる現象が現れた。

一方、図 4 (a) に示すような、振動部分の厚さが、 $27 \mu\text{m}$ の平面形状、

又は凹レンズ形状ともいいう Inverted mesa 型の振動子も製作した。同程度の共振周波数を持つ Plano-convex 型と比較すると、図 4 (b) のように、多少電気的特性は劣るが、やはり副振動を伴わないことが分かる。さらに Inverted mesa 型の振動子の平板部分の厚さを増加させると、厚さが $30 \mu\text{m}$ を越えると振動を 5 起こさない現象が出現した。Inverted mesa 型は、レンズ部分の曲率半径が無限大の Plano-convex 型と考えられ、リングサポートを持つこの形状の水晶振動子は、振動部分の厚さと曲率により、良好な振動特性を示す領域と、振動できない領域があると言える。

本発明の方法により、次の結論を得た。これまで Bi-convex 型の形状でなければ、副振動を伴わない良好な水晶振動子は得られないとされていた。しかし、 Plano-convex 型でも、リングサポートを設けて、厚さを $30 \mu\text{m}$ 程度に薄くすると、副振動を伴わない理想的なリアクタンス周波数特性を持つ水晶振動子が得られることが判明した。

以上述べたように、厚さの薄い領域で、水晶振動子の高性能化が期待できる結果を得た。しかし、厚さが $125 \mu\text{m}$ を越えると、副振動が発生するかあるいは振動しなくなることも判明した。なお、図 2 (a) に示している、Plano-Convex 型形状及び図 4 (a) に示している凹レンズ型形状 (Inverted mesa 型形状) のものでも、ある一定の厚さ及びある一定の極率半径に研磨加工しておけば、RIE 加工、イオンミーリング加工またはプラズマエッティング加工 (以下、これらの加工方法を「化学的な、Dry Etching」という)、又は化学的な Wet エッティング手段と、片面研磨加工機械、又は両面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を併用、又は単独にて使用して、Plano - Convex 型形状の裏面又は凹レンズ型形状の裏面を加工又は研磨加工することで、極限まで、極く薄い Plano - Convex 型形状及び凹レンズ型形状の研磨加工を行うことが出来る。

尚、図 1 に示している加工手段は、Plano-Convex 型形状以外に、 Concavo-Convex 型形状又は Bi-Convex 型形状の加工を行うことも出来る。

また、本発明者は、できるだけ、水晶振動子の厚みを薄くするための加工方法について研究を重ねてきた。図 5 及び図 6 は、ポリッシュ startPoint の直径と

厚みが、それぞれ5 mm、76.7 μ m及び、100 μ mの場合のリアクタンス周波数特性を示すものである。これによれば、主振動の周波数の近傍に、副振動が存在することがわかる。図7は厚みが、33 μ mの水晶振動子の、リアクタンス周波数特性を示すもので、 ± 5 MHzの、周波数領域には副振動は存在していない。

尚、図8に示すように、約6 MHz離れた周波数領域に複雑な副振動が見られる。図9は厚みが31 μ mの水晶振動子のリアクタンス周波数特性を示すもので、主振動の ± 5 MHzの領域には副振動は存在しないが、図10に示すように、副振動の周波数は主振動の周波数よりも約8 MHz離れている。これより、副振動は水晶振動子の厚みが、薄くなればなるほど、主振動の周波数から離れることがわかる。

図11～図19は超薄型の、水晶振動子の加工装置を示すものである。

この加工装置においては、図11に示すように、第1の加工補助具11の上面に、リング形状又は4角形状又はその他の形状の溝又は段差12を形成する。この溝または段差12に、図12に示すような、リング形状又はその他の形状の溝又は段差12の深さよりもやや高い円筒形状又はその他の形状の、第2の加工補助具19をはめ込む。そして、図13に示すように、第2の加工補助具19の内部に圧電素子被研磨物、本例では水晶板13を設置する。この水晶板13は、第1の加工補助具11からの第2の加工補助具19の突出高さ（例えば40 μ m）と同じか、少し低いか、又は少し高い円板状又はその他の形状とする。

他の加工順序としては、下記のようにすると、水晶板13を加工する段階にて発生する、歪みを是正するのでなおよい。

(1) 水晶板13を、第1の加工補助具11の上に設置する前に、前処理として、水晶板13の片面に、金又は、銀又は、アルミニウムなどの、金属を使用して蒸着し、

(2) 水晶板13の片面に、金属被膜を形成するか、又はその他の手段を使用して、水晶板13の、表面と裏面の、区別が出来るように、水晶板13の片面

を、表面処理し、

(3) その後、例えば、極く薄い金属被膜を形成した場合には、金属被膜を形成した面を下側にして、水晶板13を第1の加工補助具11の上に設置し、水晶板13の最初の厚さが、例えば、両面研磨加工した厚さが40μmならば、
5 20μm程度の厚さまで研磨加工する。

(4) この研磨加工した段階でも、水晶板13の研磨加工面には、かなりの歪みが発生する。此の歪みを除去するために、此の段階にて、第1の加工補助具11と、第2の加工補助具19と、加工途中の水晶板13を両面研磨加工機械より取り出して、よく洗浄する。

10 (5) その後、再度、水晶板13の表面上に形成した金属被膜の表面を上に向けて、加工途中の水晶板13を第1の加工補助具11の表面上に設置して、金属被膜を行なっている表面上から、水晶板13を、研磨加工すると、最終目標とする、厚さ10μm内外の水晶板13を、容易に研磨加工することが出来る。同時に、水晶板13を両面から研磨加工したことになるので、水晶板13を片面から研磨加工することで発生する、歪みの発生を、最小限に、抑圧することが出来ることになる。

20 このようにして、水晶の特性を変化させることなく、極く薄い水晶板13を研磨加工することが出来る。ちなみに、金を使用して蒸着をした場合、100Å(オングストローム)から200Åの厚さにて、水晶板13の片面に、均一に、蒸着層を形成することが出来る。蒸着層の厚さ自体は、水晶板13の研磨を行なう厚さに比較すると、問題にならない厚さである。水晶板13の片面に、金などの金属を使用して蒸着することで、水晶板13を途中まで加工しても、酸化セリウムなどの研磨剤65の内部に混入している水晶板13と研磨剤65を水洗いすることで、水晶板13だけを分離して取り出すことが出来る。

25 さらに、水晶板13の最初の厚さが、例えば40μmならば、RIE加工などの加工手段を使用して25μm程の厚さを粗加工して除去した後、残りの15μmの内5μm程を、上記にて説明した加工補助具を使用し、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械又はその他の加工手段を使用して研磨加工するな

らば、上記にて説明した加工手段を使用する必要性はなくなり、上記の加工手段よりも一段と簡便で、なおよい。

尚、上記にて説明した加工補助具を使用しなくてもよい。研磨加工手段の場合には、加工補助具を使用することなく、水晶板13を単体にて研磨加工する5とよい。

水晶板13と第1の加工補助具11の上面とは、接着剤59などで固定するか、又は接着剤59を使用することなく、研磨加工を行うのが通常であるが、接着剤59を用いて第1の加工補助具11の上面の全面に接着剤59を塗布して貼り付けると、薄板（例えば、厚さが10μm）の水晶板では、接着剤5910が固まるときの収縮力による影響により、水晶板13が外側に強い応力を受けて歪むことになり、水晶板13の電気的な特性が低下して、水晶板13としての、特性がなくなる。したがって、水晶板13の下面の全面に接着剤59を塗布して接着を行うことは出来ない。そこで、図14に示すように、第1の加工補助具11'の上面に形成した円形状又はその他の形状をした溝14に純水を入れ、この純水に水晶板13の下面の周囲が密着するように水晶板13を載置し、水の表面張力を使用するか、又は水を氷結させるかして、第1の加工補助具11'の上面に形成した溝14の外周部分だけの一部分を利用して、第1の加工補助具11'と水晶板13とを固着することができる。

あるいは、溝14に松脂又はその他の接着剤を入れ、又は真空吸着などを使用して、第1の加工補助具11'の上面に形成した溝14の外周部分の一部分を利用して、第1の加工補助具11'と水晶板13とを固着することができる。

他の例としては、図15に示すように、第1の加工補助具11を使用せずに、第2の加工補助具19だけを使用して、水晶板13を研磨加工することもできる。

25 さらに、他の例としては、図17（a）および（b）に示すように、第1の加工補助具11に、複数の孔16を形成する。孔16の数は、2個又は3個が適当で、この孔16に水飴、蜂蜜、接着剤59のボンド又はグリース又はその他の接着剤などの粘性物質を充填することで、水晶板13の下面を粘性物質で

密着させ、第1の加工補助具11と水晶板13とを、孔16の面積だけで点付けして固着する。又は孔16を使用して、真空吸着を使用してもよい。なお、孔16の配置としては、図17(a)に示すように、同一円周上に配置したり、図17(b)に示すように、同心円状に配置する場合があるが、これらの例に5 限定されるものではない。又、第1の加工補助具11に形成している孔16を使用して、第1の加工補助具11と水晶板13とを、孔16の面積だけのエリアを使用して、点付けして、極く一部分だけ固着する場合には、第2の加工補助具19は使用しなくてもよい場合がある。

尚、真空吸着を使用して、水晶板13を加工補助具11'の上面に吸着させて10 使用する場合には、構造的に両面研磨加工機械を使用することが出来ないので、片面研磨加工機械を使用する構造となる。ただし、真空吸着にて、加工補助具11'の上面に吸着させる構造の図面は省略する。

尚、上記の第1の加工補助具11を、図16(a)に示すように、2枚のラッピングプレート、すなわち上部ラッピングプレート18(上の上板)と下部15 ラッピングプレート17(下の上板)を使用し、下部のラッピングプレート17は水晶13と円筒形状又はその他の形状の第2の加工補助具19を加工し、上部のラッピングプレート18は第1の加工補助具11の裏面を研磨加工して、両面研磨加工機械により、極く薄い加工物を研磨加工する。

又、上記の第1の加工補助具11を、研磨加工がしにくい超鋼又は鉄などの20 金属又は硬質ガラスを使用して製作し、第2の加工補助具19を硬質ガラス又は超鋼又は鉄などの金属を使用して製作すると、鉄などの金属で出来ている上部のラッピングプレート18は第1の加工補助具11を研磨加工し、下部のラッピングプレート17は第2の加工補助具19と水晶板13を加工する。又は、図16(b)に示すように、図16(a)にて説明した手段とは逆の状態に、25 第2の加工補助具19と水晶板13を配置し、上部ラッピングプレート18で第2の加工補助具19と水晶板13を研磨加工し、第1の加工補助具11を下部ラッピングプレート17で研磨加工してもよい。

図18及び図19は、図13に示している第1の加工補助具11と第2の加

工補助具 19 を使用して研磨加工して出来た水晶板 13 の、研磨加工された形状を示している。水晶板 13 の形状が図 18 と図 19 では異なる理由は、第 2 の加工補助具 19 の材質が、図 18 と図 19 とでは異なるためである。ただし、スウェード(パッド又はバフ)を表面に貼ったラッピングプレート 17 及び 18 5 を使用した場合のみで、鉄又は錫などで出来ているラッピングプレート 17 及び 18 の場合は、図 18 の形状と同じ形状となる。ただし、錫板のラッピングプレート 17 及び 18 を使用した場合には、研磨剤 65 として、極く小さい、酸化セリウム、ダイヤモンド、GC などの研磨剤 65 を使用する必要性がある。

図 18 に示している第 2 の加工補助具 19 は、水晶板 13 の硬さとほぼ同じ硬さの石英を原料とした硬質ガラスを使用して、製作されているのに対して、図 19 に示している第 2 の加工補助具 19 は、水晶板 13 よりもよりもっと研磨加工がしにくいプラスチックス、又は硬い金属である超鋼又は鉄などを使用して製作されていることが相違する。ただし、研磨剤 65 として、酸化セリウムを使用することが条件となる。その理由は、酸化セリウムの研磨剤 65 を使用すると、超鋼又は鉄などの金属はほとんど研磨加工することが出来ないが、水晶板 13 及び硬質ガラスなどは同じ石英であるため、水晶板 13 は良く研磨加工することができるので、超鋼又は鉄などの金属で出来ている第 2 の加工補助具 19 の研磨加工を水晶板 13 の研磨加工よりも遅延させることができることからである。

20 此の相違点が、水晶板 13 の形状が、図 18 と図 19 では異なる理由である。図 19 に示している水晶板 13 の厚みの方が、図 18 に示している水晶板 13 よりも、5 μm 前後薄く加工することができるので、下記のような利点もある。
①第 2 の加工補助具 19 を超鋼などの金属を使用して製作することで、第 2 の加工補助具 19 の高さよりも、水晶板 13 を数 μm 、例えば 5 μm 程度、低く 25 (薄く) 加工することができるので、両面研磨加工機械を使用して、研磨加工を行っても、加工途中において、水晶板 13 が第 2 の加工補助具 19 より離脱して破損することがなくなる。
②水晶板 13 の直径が 1 inch から 2 inch 以上の直径の、大口径の水晶板 13

の加工が出来る。

③R I E 加工又はその他の化学的な Wet エッチング加工を行ったあとに出来る、0.2 μ mから数 μ mの凸凹面の加工変質層を除去して、鏡面に研磨加工を行う修正加工に利用することが出来る。

5 ④水晶板13を極く薄く、例えば5 μ m前後の厚さに研磨加工を行うことが出来る。

⑤図18に示している手段よりも、図19に示している手段のほうが、極く薄い水晶板13の加工を行うことが出来るが、図18に示している手段を使用しても、極く薄く加工が出来るので、どちらの手段を使用してもよい。

10 ⑥第1の加工補助具11に第2の加工補助具19を、松脂又はパラフィンなどの、低温にて溶解する接着剤を使用して固定すると、たとえ、第1の加工補助具11の上面に、接着剤を使用することなく、ただ置くだけで水晶板13を水ばかりの効果で固定して研磨加工を行っても、加工が終了したあと水晶板13を第1の加工補助具11より離脱させる場合、70℃前後に加工補助具11, 1
15 9を加熱して、図19に示している穴64より矢印の方向に棒を挿入して、第2の加工補助具19を突き上げて、第1の加工補助具11より第2の加工補助具19を離脱させると、第1の加工補助具11の上面に置いている水晶板13も容易に第1の加工補助具11より離脱させることが出来る。

⑦図18及び図19にて示している手段である、硬質ガラスまたは超鋼製の第1及び第2の加工補助具11および19を使用することで、水晶板13の外周部分が周辺ダレを生じることがないので、水晶板13の中心部分の厚さと外周部分の厚さの平行精度がよくて、平行精度にバラツキが発生しない利点があるので、歩留まりがよくなる。

もう1点、上記の研磨加工を行なう場合の重要なポイントは次のことである。
25 研磨加工を行なうときには、通常、両面ともにパッド又はスウェード又は不織布（以後、スウェード15とする）を貼ったラッピングプレート17及び18を使用するのであるが、本発明では、凹レンズ形状の水晶板13を製作する場合には、例えば、片面が鉄などの金属板で出来ているラッピングプレート17

を使用し、もう一方の片面はスウェードを貼ったラッピングプレート18を使用して研磨加工することである。すなわち、図16(b)に示しているように、上部にスウェードを張ったラッピングプレート18を使用し、鉄などの金属板で出来ている下部ラッピングプレート17を使用して、超鋼又は鉄などの金属で出来ている第1の加工補助具11の裏面を研磨加工するという条件と、ラッピングプレート17を形成している金属板の硬さと、第1の加工補助具11を形成している金属の硬さをほぼ同等とする条件とを設定することで、第1の加工補助具11の裏面は、研磨加工が出来にくくなる。これらの条件を満たすようにして、上部ラッピングプレート18の下面に張っているスウェード15を使用して研磨加工すると、水晶板13の出来上り精度を、容易に高めることが出来る。

尚、両面研磨加工機械を使用して、図19に示している形状の水晶板13を研磨加工することが出来ることで、出来上がりの再現性又は精度が、極限まで高い精度の水晶板13を、安いコストにて、多量に生産することが出来る利点もある。

尚、図面は省略しているけれども、第1の加工補助具11と第2の加工補助具19を前記の両面研磨加工機械以外の機械である片面研磨加工機械又は他の研磨加工機械で使用しても、図18及び図19に示している平板形状又は図26に示している凹レンズ形状の水晶板13を、容易に多量に、研磨加工することが出来る。

さらに、第1の加工補助具11と第2の加工補助具19を使用し、両面研磨加工機械又は片面研磨加工機械により、水晶板13を、図19に示しているような形状に研磨加工する場合、図25に示しているような加工手段を使用して、あらかじめ凹レンズ形状又は平板形状に研削加工し、水晶板13を、図26に示しているような凹レンズ形状に研削加工を行なう。又は、水晶板13の中心部分にマスクをかけ、中心部分だけに、エキシマレーザーなどのレーザー照射を行ない、最初の厚さが、例えば40μmの水晶板13の中心部分だけを、例えば1回の熱照射パルスで、0.1μm程度の加工層を除去し、合計で、20

0 パルス程度の熱照射パルスを行ない、図 4 (a) に示しているような、深さが、例えば、20 μm 程度の、凹レンズ形状（逆MESA型）の形状に加工する。又は、フッ化水素酸、塩化アンモニウムなどの化学薬品を使用して、水晶板 13 を化学的な Wet エッティング加工し、水晶板 13 の中心部分だけを凹レンズ形状に加工を行う。又は、フッ素系ガスなどを使用したイオンミーリング、又はプラズマエッティングなどの加工手段を使用して、水晶板 13 の中心部分だけを、凹レンズ形状に加工を行うか、又は砂かけなどの加工手段を使用するか、又は、その他の加工手段を使用して、水晶板 13 を凹レンズ形状に加工を行う。

その後、後加工工程として凹レンズ形状に加工した水晶板 13 を、図 13 に示しているような加工補助具 11, 19 を使用して研磨加工するか、又は、そのような加工補助具を使用することなく、図 20 に示している両面研磨加工機械を用い、キャリア 37 を直接に使用して、水晶板 13 を遊星運動させ、水晶板 13 に形成している加工変質層を除去するための、仕上げ研磨加工を行なう。これにより、図 26、図 45 及び図 46 に示しているような、精度の高い、凹レンズ形状又は平板形状の水晶板 13 を、短時間に、多量に、製造することが出来る。

上部及び下部のラッピングプレート 17 及び 18 は、図 20 及び図 21 に示す（一方のみが示されている）ように、スラリー（遊離砥粒）の供給とともに回転させることで、極く薄い水晶板 13 を、容易に研磨加工することができる。すなわち、第 1 の加工補助具 11 を載せたキャリア 37 を太陽ギア 39 とインターナルギア 38 の間に設置し、第 1 の加工補助具 11 を太陽ギア 39 の回りに公転するとともに自転する、いわゆる遊星運動をさせ、図 16 (b) に示しているように、第 1 の加工補助具 11 の片面に支持された水晶板 13 の上の面は上部ラッピングプレート 18 を使用して研磨加工し、第 1 の加工補助具 11 のもう一方の片面は、下部ラッピングプレート 17 を使用して研磨加工すると、極く薄い水晶板 13 を、容易に研磨加工することができる。片面研磨加工機械を使用する場合も、上記の研磨加工手段と、同じ手段にて、水晶板 13 を研磨加工することが出来る。

さらに、上記の手段にて、極く薄い水晶板13を加工（例えば、厚さが10 μm ）したあとでは、水晶板13が、極く薄いが為に、取り扱いに苦労し、また水晶板13に電極を形成するのにも、困難をともなう。そこで、図22に示すように、絶縁体又は非絶縁体で出来ている固定用枠48の中心に、水晶板13を設置し、ボンディングマシンを使用して、極く細い金線49（例えば、18 μm 程度）により、固定用枠48に水晶板13を固定する。水晶板13を固定用枠48に固定したあとは、図23（a）に示しているように金線49に弛みがあるので、図23（b）に示しているように、水晶板13の全面を下から持ち上げるか、又は、その他の手段にて、金線49の弛みを是正して、金線49を直線状態にはると、なおよい。又、図23に示しているような手段にて、固定用枠48に、極く細い金線49を使用して、図22に示すように、最低3つの方向から水晶板13を固定すると、空中に水晶板13を固定しているような状態になるので、水晶板13の振動を金線49が吸収し、これにより、水晶の特性を極限まで高めることが出来る。

さらに、図23に示しているように、水晶板13を固定用枠48に金線49を使用して固定したあと、図24に示すように、水晶板13の中心部分の極く一部分だけに、金などを使用して電極50を蒸着した後、水晶板13の両面の電極50と固定用枠48との間を、ボンディングマシンを使用して、金線49で結線する。このようにして、従来使用している電極（例えば、水晶板の表裏に蒸着して形成している電極）と比較すると、水晶板13の中心部分だけに、極く細い金線49（18 μm 位）を使用して電極50を形成することが出来るので、水晶の特性を低下させることがない。

図25は、片側四面の水晶板13を製造する装置を示すものである。図25において、11は第1の加工補助具、19は第2の加工補助具、41は加工補助具11、19を低速回転（例えば100～300 rpm）させるモータ、43は研磨具44を高速回転（例えば5000 rpm）させるモータである。研磨具44としては、フェルト、綿棒、バフ等の柔らかい器具を用い、酸化セリウム又はGC又はダイヤモンド等の研磨剤65を使用して、1分間に1 μm 位、

研磨していく。最初の厚みが 40 μm 程度の円板状の水晶板を、図 26 に示すように、中心が 10 ~ 2 μm の厚みの、凹レンズ形状の水晶板 13 に仕上げる。又、図 25 に示しているような構造の装置を使用して、水晶板 13 を、凹レンズ形状に加工することも出来る。此の場合、ダイヤモンド砥粒を、電気メッキしたホイルで出来ている研磨具 44 を使用すると、水晶板 13 を、凹レンズ形状に、容易に加工することが出来る。その後、凹レンズ形状に加工した後の水晶板 13 の仕上げ工程を、両面研磨加工機械又は片面研磨加工機械を使用して、研磨加工すると、図 43 (b) に示しているような、凹レンズ形状の水晶板 13 に仕上げることが出来る。

10 加工補助具としては、図 11、図 12 に示した構造のほか、図 27、図 28 または図 29 に示すように、水晶、超鋼、プラスチックス、石英、ガラス又は金属板を使用して、平板形状の加工補助具 11a 又は 11b を製作することができる。そして、斜線で示している部分に、松脂、パラフィンなどで接着剤層 59 を形成し、平板形状又は凹レンズ形状を形成した水晶板 13 を加工補助具 15 に固定して、水晶板 13 と加工補助具を一体化する。この一体化した水晶板 13 と加工補助具 11a または 11b を、図 16 に示している両面研磨加工機械 (ラップ盤) を使用して研磨する。片面のラッピングプレート 17 で加工補助具を、もう一方の片面のラッピングプレート 18 で水晶板 13 をそれぞれ研磨加工した後、水晶板 13 を加工補助具より剥離する。このような方法で水晶板 20 13 を研磨加工するならば、ラップ盤にて使用するキャリア 37 の厚さに関係なく、水晶板 13 を極く薄く、高精度で加工が出来る。加工手段としては、両面研磨加工が出来る両面研磨加工機械を使用して片面研磨加工を行なうか、又は片面研磨加工機械を使用するか、又は手作業による研磨加工を行なうか、又はその他の研磨加工手段を用いてもよい。

25 又、水晶板 13 を貼りつけて研磨加工を行なうのに使用する加工補助具 11a、11b 及び 11c (図 27 ~ 図 29 参照) を製作する素材としては、水晶板 13 と同じく水晶を使用すると、松脂、パラフィン、Agarose などを使用して貼り付ける場合に、70 °C から 100 °C 前後に加熱しても、又急速に、常温

に冷却しても、加工補助具 11a、11b 及び 11c と、水晶板 13 の熱膨張率が全く同じなので、水晶板 13 に応力が発生して、歪が発生することがなくなる。

水晶とほぼ熱膨張率が同じ素材である、石英ガラスを使用して、加工補助具 5 11a、11b 及び 11c を製作してもよいが、出来るだけ、水晶板 13 と熱膨張率が同じ水晶を使用して、加工補助具 11a、11b 及び 11c を製作したほうが良い。

尚、加工補助具の構造としては、図 27 に示している加工補助具 11a よりも、図 28 に示している加工補助具 11b の形状のほうがよい。何故ならば、10 加工補助具 11a は、水晶板 13 を加工補助具 11a に固定するのに、水晶板 13 の裏面の全面に接着剤層 59 (斜線の部分) を塗布しているのに対して、加工補助具 11b の形状の場合には、水晶板 13 を加工補助具 11b に固定するのに、水晶板 13 の側壁の部分に接着剤層 59 を形成して、固定することで、水晶板 13 の側壁を保護出来ること、及び、加工補助具 11b と水晶板 13 との間に接着剤層 59 が存在しないので水晶板 13 を加工補助具 11b に密着出来ることで、精度の高い水晶板 13 の研磨加工を行うことが出来るからである。15

また、図 29 に示している形状の加工補助具 11c の材質を、水晶、石英ガラス又は超鋼とし、これに溝 52 を形成した構造とすると、図 28 に示している加工補助具 11b よりも、下記の点でなおよよい。

20 ①平板形状又は凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の厚さは、10 μm から 8 μm 前後と、極く薄い。そこで、極く薄い水晶板 13 でも、溝 52 を形成した加工補助具 11c を使用したほうが、接着剤層 59 の厚さを厚く形成することが出来、水晶板 13 の側壁を使用して、水晶板 13 を加工補助具 11c に固定することが出来る。

25 ②加工補助具 11c の構造は、接着剤層 59 の厚さを、いくらでも厚くすることが出来る構造であるので、水晶板 13 が、極限まで、薄くなっても、加工補助具 11c に固定することが出来る。

図 42 (a) は、角速度センサーに適用できる圧電板 57 を示すもので、二

オブ酸リチウム又はニオブ酸カリウムなどの圧電素材からなる2枚の圧電板57を絶縁体からなる接着剤層59で貼り合わせて作られている。一方の圧電板57は厚い板、例えば350μm位であり、他方の圧電板57は、薄い板、例えば25μm位の板である。

5 図42 (b) は、図1に示している加工手段を使用して加工に成功した、静電容量型の角速度センサーに使用する圧電板の例を示している。この例では、圧電板57の厚い板の中心部分を、直径が3mm位の円形形状の凹レンズ形状 (Inverted mesa型) に加工し、その厚さを25μmとして、接着剤層59を挟んで、合計50μmとした。この圧電板57の材質であるニオブ酸リチウム又は10ニオブ酸カリウムは、大変に加工が難しい素材であるけれども、図1に示している加工手段を使用すれば、素材に熱による影響を与えることなく、高い精度にて、容易に加工することが出来ることが判明した。ニオブ酸リチウムの場合、20℃以内の温度差しか、許容温度差が許されない点が加工が難しいところである。

15 図43 (a) は次の工程で加工された水晶板13の形状を示すものである。

(1) 水晶板13にレジストを塗布することによりマスキングして金属被膜、又はその他の材質で出来ている被膜を形成する。

(2) 水晶板13にマスクをかけて、フッ化水素酸などを使用しての化学的な wet エッティング、又はC₂F₆又はCHF₃などのフッ素系ガス、又は塩素系ガスを20使用したRIE加工、又はその他の化学薬品を使用して、水晶板13の中心部分に、例えば直径が1.5mmの凹レンズ形状 (逆MEA形状) にエッティング加工を行なう。

水晶板13又はその他の圧電素材を、フッ化水素酸などの化学薬品を使用してエッティング加工すると、斜線にて示しているように、加工部分の外周部分の25形状が三角形状 (床掘り形状) となり、蒸着を使用して電極を形成する場合、斜線の部分が影となり、電極を形成することが出来にくいという点が、化学的な wet エッティング加工の欠点である。又、RIE加工の場合でも、三角形状にはならないけれども、エッティング加工した表面に対して、ほぼ直角となるので、

R I E 加工の場合でも、蒸着を使用しての電極形成が出来にくいという欠点がある。

このような化学的な wet エッチング加工の欠点を修正するためと、化学的な Wet Etching 加工又は R I E 加工の加工手段にて発生した加工変質層（フッ素化合物）を除去する目的のために、図 20 に示している両面研磨加工機械を使用する際、パッド又はスウェード 15 を貼ったラッピングプレート 18 と錫板又は鉄などの金属製の下部ラッピングプレート 17 を使用するか、又は、両面ともパッド又はスウェード 15 を貼った、ラッピングプレート 17 及びラッピングプレート 18 を使用して、研磨加工を行う。この方法の第 1 の利点は、図 10 43 (a) に示している水晶板 13 の凹部を、パッド又はスウェード 15 を使用して、酸化セリウム、ダイヤモンド、GC などの研磨剤 65 を使用して研磨加工すると、図 43 (b) に示しているような、スムーズライン 53 が形成されることが出来ることである。さらに、第 2 の利点は、上下のラッピングプレート 17 及び 18 の研磨圧力を受けて、研磨剤 65 が凹部に溜るために、上 15 部ラッピングプレート 18 を使用して、凹部の内部を、どんどんと段階的に研磨加工することが出来ることと、下部ラッピングプレート 17 の両面から、凹部を形成している表面とその裏面を同時に研磨加工することが出来ることである。これにより、極限まで薄い、例えば、0.5 μ m 程度（固有振動周波数約 3 GHz）までの水晶板 13 を研磨加工しても、保持部分 51 の厚さを 40 μ m から 30 μ m 位に維持することが出来ることになり、極限まで薄くしても、凹レンズ部分の強度の維持、およびハンドリングに困難を伴うことがない。さら 20 に、第 3 の利点は、両面研磨加工機械を使用して、凹レンズ形状の研磨加工を行うことが出来ることである。

上記 3 つの利点は、化学的な Wet エッチング加工と、両面研磨加工機械又 25 は片面研磨加工機械又はその他の研磨加工手段による機械的な研磨加工とを併用した、加工手段より生まれる。

尚、パッド又はスウェード 15 を使用して、図 43 (a) に示している凹形状の水晶板 13 を、両面研磨加工機械を使用して研磨加工した場合、ラッピ

グプレートにかける圧力により異なるけれども、30 μm 位の段差のある凹レンズ形状の振動部分を形成することが出来る。

次に、図44に示す加工方法について説明する。

図44に示している工程を順番に説明すると、下記の通りである。

- 5 ①図44 (a) に示すように、水晶板13に、RIE加工、又は化学的な wet エッティング手段を使用して、深さが15 μm の凹形状を形成している。
- 10 ②図44 (b) に示すように、図13に示している第1の加工補助具11を使用して、凹形状を形成した面を保持する。
- 15 ③図44 (c) に示すように、両面研磨加工機械又は片面研磨加工機械又はその他の機械的な研磨加工手段を使用して、片面は凹形状に加工した水晶板13の裏面を、もう一方の片面は、第1の加工補助具11の一面を、両面から、同時に研磨加工する。これにより、水晶板13の裏面を、59.5 μm 削り取る。この場合、機械的な手段だけで、59.5 μm の全てを削り取ると、水晶板13に歪が発生するので、最初に、RIE加工、又はプラズマエッティングなどのエッティング手段を使用して、59.0 μm 程の厚さを化学的な手段を使用して削り落とした後、残りの、0.5 μm 程を、機械的な研磨加工手段を使用して削り落とすと、一切の歪が発生することがない、又RIE加工にて発生した加工変質層を除去することが出来る。
- 20 ④図44 (d) は、最終段階として、再度、wet エッティング加工を使用して、微調整の修正を行って、出来上がった水晶板13を示している。

尚、片面研磨加工機械を使用して、凹形状を形成した水晶板13を研磨加工する場合には、凹形状を形成した面を、第1の加工補助具11を使用して保持するか、又は、凹形状を形成した面を、接着剤などを使用して研磨盤に直接に貼り付けるか、又はその他の手段を使用して研磨盤に取り付けて、凹形状を形成した裏面を研磨加工すると、容易に、極く薄い水晶板13を研磨加工することが出来る。

図45又は図46に示しているのは、他の加工方法であり、直径が1.0 inch (25.4 mm)で、厚さが80 μm の厚さに機械研磨加工された水晶板13

の基板を、最初に、図45 (b) 又は図46 (b) に示しているように、R I E加工、又はwetエッティング加工にて、 $60\text{ }\mu\text{m}$ を除去して、その後、図45 (c) 及び (d) 又は図46 (c) 及び (d) に示しているように、第1の加工補助具11と、両面研磨加工機械又は片面研磨加工機械を使用して、R I E加工又はその他の化学的なエッティング加工を行うことで発生した、数 μm の、
5 例えば、 $6\text{ }\mu\text{m}$ の凸凹を、機械的な研磨加工を行う。これにより、精度が高くて、極く薄い、例えば、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 内外の、水晶板13を加工することが出来る。

ここで、Reactive Ion Etching (R I E) 加工とは、真空中又はほぼ真空中において、イオン粒子を、数 10 km から数 100 km の速さに加速して、イオン粒子が水晶板13などの圧電素材又はその他の電子材料に激突することで発生する運動エネルギーを使用して、水晶板13などの表面を、極く少量ずつ削り取る加工方法である。この加工方法においては、イオン粒子が激突する水晶板13などの表面上では、イオン粒子が激突した瞬間に生じる発熱によりキュリー温度 (495°C 位) 以上の温度上昇が起こり、その高温の影響により、水晶板13の表面が極く少量ずつ溶解し、ガス化して気化し、吹き飛んでいる現象が起こっている。
10
15

上記のことから、水晶板13などの結晶性又は結晶方向のある材質の場合、イオン粒子が激突した表面上では、極く薄い非晶質、すなわちアモルファスとなって、石英又はシリコンの多結晶、又は使用したガスとの化合物、例えば、
20 フッ素又は塩素系ガスとの混合物、又はその他の酸化物（結晶ではなくなること）の膜が形成される。例えば、R I E加工にて $10\text{ }\mu\text{m}$ 削除した場合、 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 位の膜が形成される。そのために、圧電素材である水晶板13などの電気的な特性が、極端に低下するので、R I E加工を行なった後、その後の加工手段として、機械的な研磨加工を行わないと、電気的な特性が良い、圧電素材及び電子材料を加工することは出来ない。
25

そこで、最終仕上げ工程では、出来るだけR I E加工は使用せずに、機械研磨加工を最終仕上げの加工とすると、水晶板13の電気的な特性が低下することなく、水晶板13の電気的な特性がよい。又、機械的な研磨加工を使用して

5 極く薄い（例えば、厚さが $10 \mu m$ 前後）水晶板を加工した水晶板 13 なら
ば、化学的な Wet Etching の欠点であるピンホール（穴）が出来ることはない利
点がある。厚さが $10 \mu m$ 内外となると、化学的な Wet Etching を使用して加
工すると、すぐに、ピンホールが出来るのが、化学的な Wet Etching の欠点で
あるからである。

10 図 45 (c) 及び図 46 (c) に示している第 1 の加工補助具 11、及び 1
1 " は、鉄などの金属を使用して製作し、第 2 の加工補助具 19 は、超鋼などの
金属を使用して製作するとよい。又、研磨加工機械としては、片面研磨加工
機械を使用してもよいし、両面研磨加工機械、超音波加工機、又はその他の研
磨加工機械を使用してもよい。

15 さらに、水晶板 13 を第 1 の加工補助具 11 又は 1 1 " に固定する手段とし
ては、第 1 の加工補助具 11 又は 1 1 " に形成している孔 16 を使用して、図
面に示している矢印の方向に、真空吸着にて、第 1 の加工補助具 11、又は 1
1 " の表面上に水晶板 13 を吸着させる構造としてもよい。

20 尚、真空吸着を使用して水晶板 13 を吸着させる構造とするには、片面研磨
加工機械を使用する以外には、構造上真空吸着にて水晶板 13 を第 1 の加工補
助具 11 又は 1 1 " に吸着させて、機械的な研磨加工を行うことは出来ない。
ただし、真空吸着を使用して、第 1 の加工補助具 11 又は 1 1 " の上面に、水
晶板 13 を吸着させる構造は、図面を省略している。

25 図 45 又は図 46 に示しているのを加工の順番に、実際に行った実験結果か
ら説明する。

30 図 45 (b) 及び、図 46 (b) に示しているように、RIE 加工にて、水
晶板 13 の一面を $60 \mu m$ 除去すると、 $1 \mu m$ から $6 \mu m$ 内外の加工変質層
又は凸凹が発生する。この凸凹が発生する原因是、第 1 に、図 45 (a) に示
している、RIE 加工を行なう以前の、厚さが $80 \mu m$ で直径が 1 inch の水晶
板 13 には、機械的な研磨加工を行なうときに出来た極く小さなキズ（例えば、
0.01 μm 位）があり、第 2 に、水晶板 13 に極く小さな不純物が含まれ
ていることである。この水晶板 13 に対して、RIE 加工によるイオン粒子が

激突を繰り返すことで、極く小さなキズと極く小さな不純物が、イオン粒子の激突により拡大して凸凹が発生するのである。又、この凸凹とは別に、R I E 加工による加工変質層の発生が起こる。これは水晶板13の表面上が、イオン粒子の激突による高温で、厚さとして0.2 μ m内外、溶解するために、石英となるか、又はシリコンの多結晶となるか、又は使用したイオン粒子と化合して化合物となるか、又は酸化物となって、非晶質すなわちアモルファスとなって、水晶板13としての結晶性がなくなる。

上記2つの原因からなる、0.2 μ mから6 μ m内外の凸凹を、機械的な研磨加工を行って除去するために、第1の加工補助具11又は11"と、第2の加工補助具19を使用する場合、第2の加工補助具19の材質を、酸化セリウムなどの研磨剤では、研磨加工が出来にくい材質である、超鋼などの金属材料とすると、水晶板13が、超鋼にて出来ている第2の加工補助具19により保護されて、研磨加工される。そうすれば、片面研磨加工機械を使用して研磨加工しても、超鋼などで出来ている第2の加工補助具19が、ラッピングプレート盤として用いられる、例えば錫盤などの、金属板に倣うと同時に、第2の加工補助具19が錫板の平行度、平面度を、常時、修正しながら研磨加工を行なう効果があるので、水晶板13を、極限まで、平行度及び平面精度のよい加工を行うことが出来る。

例えば、ラッピングプレートとして錫板を使用し、第2の加工補助具19を超鋼を使用して製作して水晶板13を加工すると、図45(d)又は図46(d)に示しているように、6 μ m内外を、片面研磨加工機械又は両面研磨加工機械を使用して研磨加工した場合の、水晶板13の両面の平行度、及び平面精度は、1/100以内の誤差の範囲内にて加工が出来ることが判明した。

この加工方法を使用することにより、例えば、2 inch(5.08 cm)の基板を、厚さ5 μ mの厚さに研磨加工しても、平行度(傾斜角度)は、5 μ m \times 1/100 \rightarrow 0.05 μ m以内の誤差の範囲内にて加工することができる。これは、水晶板13の電気的な特性に影響を与えるほどの誤差ではない。さらに、金属などの、鉄、又は超鋼などの金属材料を使用して、水晶板13の外周を保護す

るので、水晶板13の周辺部分に亀裂又は破損が発生しなくなる。

尚、R I E加工にて、水晶板13を60μm除去すると、第1に、0.1μmから6μm内外の凸凹が発生するが、この凸凹は、機械的な研磨加工手段を使用して除去するのが最も良いけれども、第2の原因にて発生する、イオン粒子が水晶板13に激突することで発生する加工変質層を除去する手段としては、非晶質の厚さの部分が、せいぜい0.2μmから1μm内外なので、フッ化水素酸などを使用した化学的なWet Etching加工の手段にて非晶質を除去してもよいが、機械的な研磨加工の手段にて除去するほうが良い。

上記の研磨加工に関する説明は、片面研磨加工機械を使用する場合についてであったが、両面研磨加工機械を使用して研磨加工する場合には以下のようになる。

図44、図45及び図46に示しているように、水晶板13を上のラッピングプレート18(図16(B)参照)を使用して研磨加工し、第1の加工補助具11及び11"の下の面を下のラッピングプレート17を使用して、上下方向の両面から研磨加工を行う。水晶板13を、第1の加工補助具11又は11"に固定する手段としては、接着剤を使用することなく、ただ、第1の加工補助具11又は11"の上に置くだけで、第2の加工補助具19で水晶板13の外周を保護するように水晶板13を固定して研磨加工を行うことが出来る。

尚、この両面研磨加工機械を使用しての研磨加工を行うときに使用する加工補助具11及び11"には、真空吸着を使用することはないので、第1の加工補助具11及び11"に形成している孔16は必要ない。

さらに、両面研磨加工機械を使用して研磨加工する場合、鉄などの金属で出来ている第1の加工補助具11及び11"を研磨加工するラッピングプレート17は、第1の加工補助具11及び11"と同じ材質の鉄などの金属を使用して製作し、水晶板13を研磨加工するラッピングプレート18はスウェード15(パッド)などを貼ったラッピングプレート18を使用して、研磨加工を行う。このようにすると、図45に示しているように、超鋼などの金属で出来ている第2の加工補助具19は研磨加工されることなく、水晶板13だけが例え

ば $6 \mu m$ 前後、第 2 の加工補助具 19 よりも深く、研磨加工されるので、研磨加工の途中の水晶板 13 が、第 1 の加工補助具 11 より、飛び出すことがなくなる。

図 4 5 と図 4 6 に示している水晶板 13 の相違点は、図 4 5 及び図 4 6 に示している水晶板 13 の研磨加工を行うラッピングプレート 18 は、両方共にパッド又はスウェード 15 を貼っているラッピングプレート 18 を使用しているけれども、図 4 5 に示している第 2 の加工補助具 19 の材質が超鋼などの金属であるのに対して、図 4 6 に示している第 2 の加工補助具 19 の材質は、石英などを素材とした、硬質ガラスを使用していることである。この相違により、
10 第 2 の加工補助具 19 の高さが異なる。図 4 5 に示している第 2 の加工補助具 19 は全く研磨加工されないのでに対して、図 4 6 に示している第 2 の加工補助具 19 は、水晶板 13 の高さと同じ高さに研磨加工されている。ただし、研磨剤 65 として酸化セリウムを使用することとする。その理由は、水晶板 13 の材質と、第 2 の加工補助具 19 の材質が同じ石英で出来ているからである。
15 図 4 5 及び図 4 6 に示している加工手段を使用して、現在、両面研磨加工機械(ラップ盤ともいう)を使用して製作することが出来ない厚さである $27 \mu m$ (現在、製造することが出来る厚さの限界は $24 \mu m$ から $27 \mu m$ とされているけれども、 $29 \mu m$ 位が限界である) 以下の、薄い水晶板 13 を製作する。この場合、第 1 の加工工程として、図 4 5 (a) に示しているように、
20 $80 \mu m$ の厚さに機械研磨加工された水晶板 13 の厚さを、図 4 5 (b) に示しているように、RIE 加工を使用して $60 \mu m$ 除去して、水晶板 13 の厚さを $18 \mu m$ の厚さにする。その後、第 2 の加工工程として、RIE 加工にて発生した加工変質層、例えば、RIE 加工にて $62 \mu m$ 除去した場合に発生した約 $0.2 \mu m$ から $6 \mu m$ の加工変質層を、ラップ盤、片面研磨加工機械、又はその他の機械研磨加工手段を使用して除去する。これにより、水晶板 13 の電気的な特性が改善される。
25

図 4 5 (e) 及び図 4 6 (e) に示しているように、両面から、 $1.0 \mu m$ ずつ位ずつ、RIE 加工を使用して削り取るのであれば、許容される範囲内で

あるけれども、仕上げ工程としてはなるべく、 R I E 加工は使用せずに wet エッティングの加工手段を使用するほうがよい。

尚、 R I E 加工の利点は、図 4 5 (b) に示しているような、 $62 \mu m$ 程度粗加工する場合と、 $0.1 \mu m$ 内外を削り取る微調節用の加工手段として使用する場合であるが、加工補助具 1 1 及び 1 1 "を併用しての、電気的な特性が良い機械的な研磨加工手段と、欠点のある R I E 加工の加工手段と、化学的な Wet Etching の加工手段を交互に適用することで、図 4 5 (e) 及び図 4 6 (e) に示している段階で、機械的な研磨加工では除去出来なかった斜線の部分を、化学的な Wet Etching を使用して最終的に除去し、厚さが $10 \mu m$ 内外の $1 \text{ inch} \times 1 \text{ inch}$ 又は $2 \text{ inch} \times 2 \text{ inch}$ の丸形状又は角形状の、水晶板 1 3 の基板を多量に安く量産することが出来る。

さらに、電気的な特性が良好な水晶板 1 3 の基板が出来れば、図 5 1、図 5 2、図 5 3 及び図 5 4 に示している凹レンズ形状、又は Plano-Convex 型形状、 Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状、又はその他の形状の水晶板 1 3 を、精度高く製作することが出来る。

図 4 4、図 4 5 及び図 4 6 に示している研磨加工方法によれば、下記のような利点がある。

- ①両面研磨加工機械を使用して、極く薄く、平板形状又は凹形状を形成した水晶板 1 3 の研磨加工を行うことが出来る。
- 20 ②両面研磨加工機械を使用して研磨加工しても、第 1 の加工補助具 1 1 を使用することで水晶板 1 3 に、平板形状又は凹形状を形成した一面は、一切研磨加工することなく、裏面だけを研磨加工する能够なので、平板形状又は凹形状部分の加工寸法精度が変化しない。
- 25 ③第 1 の加工補助具 1 1 を使用することで、両面研磨加工機械を使用して、片面研磨加工が出来るので、粗加工であるラップ加工から、ポリッシング加工である研磨加工をしても、平板形状又は凹形状部分の加工寸法の精度が変化することがない。
- ④第 1 の加工補助具 1 1 を使用することで、片面研磨加工でありながら、両面

研磨加工機械の利点である、平行精度、平面精度を出すことが出来る。

⑤第1の加工補助具11を使用することで、RIE加工又は化学的なエッチング加工の利点と、片面研磨加工機械の利点と、両面研磨加工機械の利点の、両方の利点を利用することが出来る。

5 ⑥第1の加工補助具11を使用して片面研磨加工を行うことで、片面研磨加工機械の欠点がなくなる。

図47は、水晶板13の両側から、RIE加工、プラズマ又はその他の化学的なWetエッチング加工を行って製作した、両面が凹形状をした水晶板13を、図13に示している第1の加工補助具11を使用することなく、両面研磨加工機械を使用して、直接に、遊星運動をさせて、化学的なWetエッチング加工などによる加工変質層（フッ素化合物層、又は酸化膜）を、機械加工で除去することにより、水晶板13の電気的な特性を向上させた形状を示している。

10 15 図47(c)に示しているのは、出来上がりの寸法図の一例である。又、両面を凹レンズ形状に形成した水晶板13を、パッド又はスウェード15を貼ったラッピングプレート17及びラッピングプレート18を使用して、上下の方向から研磨圧力をかけて、両面研磨加工機械で研磨加工すると、図47(a)に示している形状の水晶板13の形状を、図47(c)に示している形状に研磨加工を行なうことが出来ることも判明した。

20 25 図48は、実際に水晶板13を製作する場合、2.0インチウエハーの水晶板13の表面上にマスキングしてマスクを形成し、化学的なWetエッチングを使用して、数百個から数千個の、平板形状又は片面が凹レンズ形状又は両面が凹レンズ形状の水晶板13を形成し、その後、水晶板13を切断して、水晶板13を、四角形状のままの状態にて使用するか、又は丸の形状に切断加工して使用する状態を示している。

尚、図48(a)及び(b)に示しているのは、丸の形状であるが、実際上は4角の形状にて使用する場合が多い。

図44、図45及び図46にて説明している加工手段は、一個ずつの加工方法についての説明を行っているけれども、実際には、図48に示しているよう

に、2. 0インチウエハーの表面上に、レジストを塗布してマスキングして、水晶板13にマスクをかけ、その後、化学的なWet Etchingなどのエッティング加工を行なって、一度に、多量のエッティングを行う。

多量にエッティングを行なって出来た、片面が凹形状又は両面が凹形状又は平
5 板形状又はその他の形状をした水晶板13を、加工補助具11又は11"又は
図49に示している第3の加工補助具61で保持し、研磨加工するか、これらの加工補助具を使用することなく、直接に、図20に示しているキャリア37
10 を使用して、遊星運動をさせて、両面研磨加工機械で両面から研磨加工を行な
うか、片面研磨加工機械を使用して研磨加工を行なったままとするか、又は周波
数の微調節を行なう目的で、再度化学的なWetエッティング加工などのエッチ
15 ング加工を行なった後、水晶板13を1個ずつ切断して製作すると、安いコスト
にて、精度の高い、水晶板13を、短時間に、多量に、製作することが出来る。

図48(a)、(b)、(c)及び(d)に示している水晶板13を、1個ずつ、
又は数100個、又は数1,000個の凹形状を形成している2インチの基板
15 (wafer)を研磨加工するときには、図49(a)及び(d)に示している
ような、第3の加工補助具61を、プラスチック、超鋼、鉄、又はその他の
金属、又はその他の素材を使用して製作し、第3の加工補助具61の空間部分
62に、水晶板13を、図49(c)及び(e)に示しているように挿入した
後、図20に示している、キャリア37を、直接使用して、水晶板13を遊星
20 運動をさせて、両面研磨加工を行う加工工程としてもよい。

尚、図49では、1個ずつの水晶板13の研削加工と研磨加工を併用した加工手段についての説明をしているけれども、凹形状を、数10個から数100
個、又は数1,000個形成している水晶板13の研削加工及び研磨加工は、
25 図49に示している場合の水晶板13の研削加工と研磨加工を併用した加工手
段と全く同じである。

図49に示している水晶板13の研磨加工の条件は、凹形状を形成している
側とは反対の裏面の研磨加工には、パッド又はスウェード15を貼っているラ
ッピングプレート18を使用し、凹形状を形成している側の表面の研磨加工は、

鉄、又は錫板などの金属板のラッピングプレート17を使用することである。

このときに使用する研磨剤65として、極く小さい、ダイヤモンド、G.C.、又は酸化セリウムなどの研磨剤65を使用して研磨加工を行なうと、水晶板13を、第3の加工補助具61の空間部分62に填め込むことで、水晶板13と、

5 第3の加工補助具61が一体となって合体する。合体した水晶板13と第3の加工補助具61を、図20に示しているキャリア37を使用して、遊星運動させることで、水晶板13の外周に位置している、超鋼などの金属で出来ている第3の加工補助具61が、常時水晶板13と遊星運動することにより、鉄、又は錫板などの金属で出来ている下部のラッピングプレート17の平行度、平面度を常時、修正して高めているので、出来あがりの精度が極限まで高い水晶板13の研磨加工が出来る効果が生まれる。

又、研磨剤65として水晶板13と相性が良い酸化セリウムを使用した場合、鉄、錫板などの金属で出来ている下部ラッピングプレート17と、パッド、又はスウェード15を貼った上部ラッピングプレート18を使用して研磨加工を行なうと、研磨される厚さのうち9/10以上の厚さが、パッド、又はスウェード15を貼っている上部ラッピングプレート18の面において研磨加工されることになる。したがって、図49(b)にて示しているように、凹形状をしている水晶板13の裏面(フラット面)だけが研磨加工される為に、水晶板13の振動部分だけが、段階的に、極く薄く研磨加工されることになる。

20 さらに、第3の加工補助具61の高さと、凹形状をした水晶板13の高さが同じでも、ウレタン、又は不織布などで出来ている。パッド、又はスウェード15を貼ったラッピングプレート18を使用して研磨加工を行なうと、第3の加工補助具61は超鋼で出来ているので、全く研磨加工されなくても、第3の加工補助具61の内部に挿入している水晶板13は、15μm前後の厚さまでの深さまでは研磨加工される。例えば、凹形状の水晶板13の厚さが、当初80μmの厚さであれば、第3の加工補助具61と水晶板13の高さが同じでも、水晶板13だけを80μm-15μm=65μm位の厚さまで研磨加工を行なうことが出来る。

図49(c)に示している水晶板13の形状が四角の形状で、この四角形状の水晶板13を挿入している四角形状の空間部分62を形成している第3の加工補助具61を使用して、キャリア37を直接に使用して、遊星運動させながら研磨加工を行うほうが、図49(e)に示している丸い形状の空間部分62を形成している第3の加工補助具61よりも、より効果的に研磨加工することが出来る場合もある。

図50は、水晶板13の真上に、例えば超音波加工機械などを使用して0.5 mmの穴を形成した水晶で出来ているマスク板63、又は石英又はタンゲステンシーサイド又はその他の材質にて出来ているマスク板63を置いて、水晶板13の上の方向から、R I E (Reactive Ion Etching) 加工を行い、深さが15 μm の凹形状を、水晶板13に形成している状態を示している。

何故、マスキング(金属被膜)の変わりに、マスク板63を使用するかというと、水晶板13に15 μm から25 μm 以上の凹形状を形成する場合、露光手段を使用したマスキングでは、金属被膜の厚さが、せいぜい1 μm 前後の為に、水晶板13に15 μm 内外の凹形状を形成する段階で、マスキングの金属被膜の厚さが全くなくなり0となるが為に役にたたないためである。そのため、例えば0.5 mmの穴を形成したマスク板63を使用して、水晶板13にマスクをかけ、R I E 加工を行う以外には、R I E 加工を使用して、水晶板13に、深さが15 μm 以上の凹形状を形成することは不可能である。水晶板13をR I E 加工する場合のマスク板63の素材としては、水晶、又は水晶と同じ素材である石英が、適当なである。何故ならば、水晶又は石英以外の素材を使用してマスク板63を製作すると、水晶板13の表面上に、R I E 加工にて使用するフッ素ガスにより分解されて、プラズマ状態となった他の物質が付着して、水晶板13の表面上に凸凹が出来る現象が発生するためである。そうすると、水晶板13の精度の高い加工が不可能となるので、水晶板13のマスク板63として、水晶又は石英を使用する。悪い例として、例えば、パイラックスで出来ている板などをマスク板63として使用すると、パイラックスに含まれているアルミニウムなどの物質がフッ素ガスにて分解されて、アルミナなどが出来

て、水晶板13の表面上に付着して化合するような、現象が起こるので、パイレックスなどは使用することが出来ない。

上記の手段以外に、ドライフィルム（デュポンMRCドライフィルム社の商品）を使用して、水晶板13の表面上にレジストを貼りつける方法でも、容易にマスキングすることは可能である。その他の手段としては、直接に、水晶板13の表面上に、レジストを塗布する方法でもマスキングすることは可能である。

図51及び図52は、水晶板13を、両面が凹形状、又は両面が凸形状に、RIE加工、プラズマエッティング、又はその他の、化学的なエッティング手段を使用して、水晶板13を凹形状に加工した後、その後の加工手段として、機械的な研磨加工である、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を使用して、凹レンズ形状に、化学的なWetエッティング手段を使用して形成した加工面の、加工変質層を、機械的な研磨加工手段にて除去して、両面の平行精度及び平面精度を出したままとするか、再度、RIE加工、
10 プラズマエッティングなどの、化学的なWetエッティング手段を使用して、エッティング加工すると、エッティングの欠点である、極く小さい、数 μm の、凸凹が発生する、この凸凹を、さらに、再度、機械的な、研磨加工にて除去することと、凹レンズ形状を形成している、水晶板13の裏面を、エッティング加工と、機械的な研磨加工を併用することで、容易に、極限まで、水晶板13を、極く、
15 薄く加工することが出来る状態を示している。尚、図中、斜線の部分は、エッティング加工と、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械を併用して、削り落としている部分を図示している。

上記のことを要約すると、水晶板13を、RIE加工、又はその他の化学的なWetエッティング手段、又は機械的な研削手段を使用して、凹形状、又は凸形状に加工した後、機械的な、研磨加工を行なうことにより、RIE加工、又は化学的なエッティング手段にて出来た、微小な凸凹を、除去して、平行精度及び平面精度を向上させることが出来る。RIE加工、又は化学的なWetエッティング加工と、機械的な、研磨加工と、エッティング加工を併用して水晶板13

を、極限まで、薄くしても、面精度を低下させることがなく、水晶板13を、極限まで薄くしても、水晶板13が、過度のエッチングにより、不純物が原因となって穴があいたり、破損することがない。

尚、図51及び図52に示している、片面又は両面が凹形状の、水晶板13の加工手段としては、下記のような加工手段としてもよい。

水晶板13を、片面又は両面から、ウェットエッチングである、化学的なWetエッチング手段、又は機械的な研削、又は研磨加工手段を使用して、水晶板13を凹形状に加工した後、片面又は両面から、図中、斜線にて示している部分を、Reactive Ion Etching (RIE)加工を行って、両側から、相似形状、又は相対的に縮小した後、RIE加工によって発生した加工変質層を除去するために、機械的な研磨加工を行なって、化学的なWet Etching、又はRIE加工によって発生した加工変質層を除去することにより、電気的な特性が良好で、しかも、水晶板13の厚さを、1μm以下の薄さに加工することが出来る。

さらに、図52(a)に示しているような形状に、図1に示している研削加工手段を使用して加工した後、例えば、図52(b)、(c)、(d)及び(e)に示しているように、両面から、RIE加工の加工手段を使用して、図中、斜線にて示している部分を、RIE加工にて除去する。これにより、図52(a)に示している形状と全く同じ形状の相似形状に、両側面からだけ縮小して、極く薄くて、精度の高い、Bi-Convex型形状に、図52(a)に示している寸法の形状である、保持部分51の厚さが74.5μmで、溝52の部分の厚さが24.5μmで、振動部分の一番厚いところの厚さが26.5μmの形状を、図52(f)に示しているように、保持部分51の厚さが50.5μmで、溝52の部分の厚さが0.5μmで、振動部分の一番厚いところの厚さが1.5μmの形状と相似形状に縮小することが出来る。

尚、その後の加工手段として、RIE加工によって発生した加工変質層を、機械的な研磨加工を使用して除去する必要性はある。

図53及び図54に示すように、第1の加工手段として、図53(a)、又は図54(a)に示している水晶板13に、マスキングして金属被膜を形成し

て、水晶板 1 3 の中心部分だけを、直径が 0.5 mm の凹形状に、RIE 加工、又はその他の化学的な Wet エッチング手段を使用して形成した後、第 2 の加工手段として、図 1 (a) に示している、機械研磨加工手段を、仕上げの第 2 の加工手段とするならば、第 2 の加工手段である、研削手段にて研削を行う取りしきが少なくてすむので、短い時間で、片面が凸レンズ型形状、又は両面が凸レンズ型形状で、しかも、図中に示しているように、保持部分 5 1 とスムーズライン 5 3 を形成している、両面が凸レンズ型形状、又は一面が凹面で、他の一面が凸面の、凹凸レンズ型形状を製作することが出来る。

さらに、図 5 4 (c) に示している、Bi-Convex 型形状に、研削加工と、研磨加工を併用して加工した後、図 5 4 (c) に示している Bi-Convex 型形状の両側面から、各々、9.25 μm ずつ RIE 加工にて、両側面からエッチング加工にて、相似形状に縮小すると、図 5 4 (d) の形状、又は図 5 4 (d') の形状の、極く薄くて、高精度の Bi-Convex 型形状の水晶共振子を容易に製作することが出来る。

さらに、RIE 加工にて、Bi-Convex 型形状を、相似形状に縮小した後の、Bi-Convex 型形状を両面研磨加工機械などの、機械的な研磨加工手段を使用して、Bi-Convex 型形状両側面から、研磨加工を行なうか、又は化学的な Wet Etching などの加工手段にて、RIE 加工による加工変質層を除去すると、電気特性がよい水晶振動子が出来る。

尚、図 5 3 及び図 5 4 に示している加工手段の説明は、直径が 2.0 mm の水晶板 1 3 に関しての説明を行なったけれども、実際の加工は、直径が 1 inch \times 1 inch、又は 2 inch \times 2 inch の角形状、又は丸形状の水晶板 1 3 を使用して、一度に多量に、製造することになる。

図 5 5 (a) 及び図 5 6 (a) に示しているのは、両面研磨加工機械を使用して、厚さが 80 μm で、直径が 1 inch の角型形状の、両面が鏡面状態に研磨加工された水晶板 1 3 を示している。

図 5 5 (b) 及び図 5 6 (b) は、図 5 5 (a) 及び図 5 6 (a) に示している、厚さが 80 μm の水晶板 1 3 の厚さを、RIE 加工の加工手段を使用し

て、水晶板13の片側面から68μm削り落として、水晶板13の残りの厚さが12μm残っている状態を示している。

図55(c)は、RIE加工の加工手段を使用して、当初、厚さが80μmあった水晶板13の厚さを12μmに加工した水晶板13を、RIE加工を行なった片側面からだけ、フッ化水素酸、NH₄HF₂、又はHFなどを使用した、化学的なWet Etchingを行なって、RIE加工にて発生した加工変質層(非晶質の部分)を、1.5μm除去して、厚さが10.5μmで、直径が1inchの水晶板13を加工している状態を示している。

図56(c)は、RIE加工の加工手段を使用して、当初、厚さが80μmあった水晶板13の厚さを12μmに加工した水晶板13を、フッ化水素酸、NH₄HF₂、又はHFなどの溶液中に入れて、RIE加工を行なった片側面から1.5μmと、RIE加工を行なわない片側面から1.5μmの、両側面からトータルで3μmを、化学的なWet Etchingを行なって除去することにより、RIE加工にて発生した加工変質層を1.5μm除去し、結果として、厚さが9μmで、直径が1inchの水晶板13を加工し、その後、ラップ盤を使用して、機械的な研磨加工を行なう、仕上げ加工、工程を行なっている状態を示している。

図55及び図56に示しているように、当初、厚さが80μmあった水晶板13を、RIE加工の加工手段を使用して68μm削り落として、水晶板13の厚さを12μmとすると、RIE加工による、フッ素系、又は塩素系の、イオン粒子が水晶板13に激突するときに発生する高熱にて、水晶板13の表面上より、0.2μm位までの深さの部分までの厚さの表面層が、キュリー温度以上の、高熱による影響によりダメージ層、加工変質層(非晶質)となって、水晶板13の電気的な特性が大幅に低下する。この水晶板13の電気的な特性を改善する目的にて、当初、機械研磨加工にて出来ている、厚さが80μmの水晶板13を、図55に示しているように、RIE加工を行なって68μm削り落とし、厚さを12μmとした水晶板13の、RIE加工を行なった片側面から、又は図56に示しているように、RIE加工を行なった片側面、及び機

械研磨加工を行なったままの片側面の両面の全面を、フッ化水素酸などの溶液中に入れて、化学的な Wet Etching を行なうか、又は化学的な Etching 溶液を霧の状態にして、噴霧することによる、化学的な Wet Etching を行なって、RIE 加工にて発生した、加工変質層を厚さとして 1. 5 μm 程を片側又は両側 5 面から除去したあと、ラップ盤を使用して機械的な研磨加工をすることで、水晶板 13 が本来、持っている電気的な特性を取り戻すことが出来ることが判明した。

尚、RIE 加工にて発生した加工変質層を除去する手段としては、図 45 及び図 46 に示しているように、機械的な研磨加工手段を使用して、加工変質層 10 を除去してもよいし、又は小さく裁断、例えば、厚さが 10 μm の場合には、直径が 1. 2 mm、又は 2. 0 mm の丸形状、又は角形状に裁断して、超音波振動を使用した研磨加工、又はバレル研磨加工などを使用してもよい。

第 1 に、図 57 に示しているのは、直径が 2. 89 mm の、円型形状で、厚さが 29. 5 μm で、両面ともに、両面研磨加工機械を使用して、鏡面状態に 15 研磨加工 (ポリシング) した、平板形状の水晶板 13 の周波数 (56. 595 MHz) の特性を測定した実測図である。

第 2 に、図 58 に示しているのは、RIE 加工の加工手段を使用して、図 57 に示している、水晶板 13 の片側面から、12. 13 μm を除去して、水晶板 13 の厚さが、17. 36 μm となった、水晶板 13 の周波数 (96. 15 20 99 MHz) の特性を測定した実測図である。

第 3 に、図 59 に示しているのは、RIE 加工の加工手段を使用して加工した、水晶板 13 の表面上に発生した、凹凸及び加工変質層 (非晶質の部分) を除去する目的にて、図 58 に示している水晶板 13 の、RIE 加工を行なった片側面からだけ、研磨剤 65 として、酸化セリウムを使用して、機械的に研磨加工を行ない、厚さとして、RIE 加工の加工手段にて発生した、加工変質層 25 を除去するために、0. 12 μm を除去して、水晶板 13 の厚さが、17. 24 μm となった後の、水晶板 13 の周波数 (96. 8547 MHz) の特性を測定した実測図である。

第4に、図60に示しているのは、図59に示している、水晶板13の厚さが、17.24μmの、水晶板13の、加工変質層を、より一段と除去する目的にて、再度、図59に示している水晶板13を、研磨剤65としては、第3の場合と同じく、酸化セリウムを使用して、再度、4.96μmの厚さを除去して、水晶板13の厚さが、12.26μmとなった後の、水晶板13の周波数(136.1149MHz)の特性を測定した実測図である。

上記のことを説明すると、まず、第1に、図57に示している周波数の実測図は、副振動の発生も少なく、平板形状の水晶板13としては、大変にすばらしい波型の周波数を発振している。

10 第2に、図58に示しているのは、RIE加工の加工手段を使用して、図57に示している、厚さが29.5μmの水晶板13を、12.13μmを除去した場合の、水晶板13の周波数の波型を見ると、副振動が主振動の、すぐ近くに接近しているが為に、水晶振動子としては、全く使用することが出来ない、波型の水晶振動子としての発振状態を示している。

15 第3に、図59に示しているのは、図58に示している、RIE加工の加工手段を使用して、12.13μmを除去したとの水晶板13の、RIE加工を行なった表面上から、研磨剤65として、酸化セリウムを使用して、0.12μmを機械的な研磨加工手段を使用して、水晶板13の研磨加工を行なった後の、周波数を測定した実測図である、図56に示している場合の波型とは異なり、図59に示している波型は、副振動が主振動より離れていることが判る。

20 第4に、図60に示しているのは、図59に示している水晶板13を、再度、研磨剤65として、酸化セリウムを使用して、RIE加工を行なった表面上から、厚さとして、4.96μmを機械的な研磨加工手段を使用して、RIE加工の加工にて発生した加工変質層を除去した、水晶板13の周波数を測定した実測図である。図60に示している周波数の測定図と、図59に示している周波数の測定図を比較すると、図59に示している副振動が、図60に示している、周波数の測定図から消滅していることが判る。上記の結果から、RIE加工の加工手段を使用して、もともと、良い波型形状の周波数を発振していた水

晶板 1 3 を加工すると、副振動が発生して、水晶振動子としては使用することが出来ない、周波数の波型を発振することが判った。けれども、R I E 加工を行なった水晶板 1 3 の加工面を、再度、機械的な研磨加工を行なうことにより、水晶板 1 3 の電気的な特性を改善することが出来ることが判明した。

5 上記のことから判断することが出来るのは、両面研磨加工機械を使用して研磨加工した、図 5 5 に示している水晶板 1 3 の波型は、すばらしく、良い波型の周波数を、発振している。けれども水晶板 1 3 の周波数を高めるために、水晶板 1 3 の厚さを薄くする目的にて、R I E 加工の加工手段を使用して、水晶板 1 3 を薄くすると、R I E 加工による、加工変質層（水晶板 1 3 の表面上が、10 極く一部分非晶質の膜となって、石英、又はシリコンの多結晶、又はシリコンの酸化物、又はその他の酸化物、又はその他の化合物となる）が発生して、振動子としては、全く使用することが出来ない波型の周波数の発振をすることになる。しかし、R I E 加工によって発生した、0. 2 μm から 1. 0 μm 内外の加工変質層を、再度、機械的な研磨加工の加工手段を使用して除去することで、再度、すばらしく良い、周波数の波型を発振する水晶振動子となることが判明した。このことにより、R I E 加工の加工手段の欠点を補う、機械的な研磨加工手段、又、化学的な Wet Etching 加工手段を使用しても、R I E 加工の加工手段の欠点を補うことは出来るが、化学的な Wet Etching 加工の加工手段よりは、機械的な研磨加工手段を使用して、加工変質層を除去したほうが、より一段と水晶本来の電気的な特性は良い。上記のことから、R I E 加工を併用する、ポリシング（機械的な研磨加工）→R I E 加工→ポリシング、又は化学的な Wet Etching 加工、又は R I E 加工（微調節に使用する）という、加工手段を使用することにより、かぎりなく薄くて、かぎりなく、波型が良くて、かぎりなく、周波数が高い、水晶振動子が、安い価格にて製作することが出来ることになった。この加工技術は簡単な、加工技術であるが故に、地球上における、最後の、産業革命を起こすことになる技術でもある。

尚、水晶板 1 3 の表面上に、例えば、 CF_4 又は C_2F_6 などのフッ素系のイオン粒子、又は塩素系のイオン粒子を、超高速にて水晶板 1 3 に激突させると、

例えば、フッ素イオン粒子、又は炭素粒子イオンが、水晶板13の表面上にて水晶(SiO₂)のO₂(酸素)と化学反応を起こして、珪素(Si)よりもイオン化傾向が高く、さらに、超高速に加速されて、運動エネルギーを与えられたポテンシャルの高いフッ素イオン粒子が水晶(SiO₂)から酸素(O又はO₂)を奪って、フッ素イオン粒子と酸素(O又はO₂)が化学反応を起こす。そして、フッ素化合物、又はフッ素酸化物が、水晶板13の表面上に出来て、水晶板13の表面上より、酸素(O又はO₂)が飛び出すことにより、水晶板13の表面上に、0.2μm位から1μm位の、極く薄い、使用したガスとSiO₂の化合物、例えば、フッ素とSiO₂の化合物、又はシリコンの単結晶、又はシリコンの多結晶(Si)、又はシリコンの酸化物の膜が出来る。又イオン粒子が水晶板13に激突するときの運動エネルギーによって発生する高熱の影響により、水晶板13が溶解して石英(SiO₂)となる場合もある。

又、水晶板13の表面上に出来るシリコン(Si)の単結晶、又はシリコンの多結晶の膜、又は石英(SiO₂)、又はその他の、酸化物の膜(加工変質層)の厚さは、イオン粒子が、秒速、数kmの場合と、数10kmの場合と、数100kmの場合と、数1,000kmの場合とでは、水晶板13の表面上に出来る、加工変質層(膜)の厚さは異なるけれども、膜の厚さは、だいたい0.2μm位から1μm位までである。

図61及び図62に示すように、化学的なWet Etching加工、又は機械的な加工、又はその他の加工手段にて凹形状に加工した、厚さが80μmで、凹形状の深さが60μmで、直径が1inch以上の角形状の水晶板13を、同じ厚さ80μmで、直径が1inch以上の、水晶、又は金属板、又はその他の素材で出来ている、第4の加工補助具66の上に、松脂などの接着剤59を使用して貼り合わせた後、図16、図20及び図21に示している、両面研磨加工機械(ラップ盤)を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、研磨加工を行なうか、又は図63に示しているように、全く同じ形状の凹形状に加工した水晶板13の、凹形状を形成した表面と表面を、松脂などの接着剤59を使用して貼り合わせた後、凹形状を形成した水晶板13の裏面を、上下

のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工すると、貼り合わせる素材が、同じ水晶なので、熱膨張率が同一なことにより、加工途中において、歪が発生しない。

さらに、凹形状を形成した水晶板13に貼り合わせる素材としては、水晶以外に、水晶の熱膨張率に近い石英ガラスでもよいし、その他の素材でもよい。

尚、図62及び図63に示している黒塗りの部分は、凹形状を形成している凹形状の内部に松脂などの接着剤層59を注入して、水晶板13に形成した、凹形状内部の部分を補強している状態を示しているが、松脂などの接着剤層59を注入して水晶板13に形成した凹形状内部を補強しなければ、研削、研磨加工が出来ないわけではない。松脂などの接着剤層59を形成しなくとも、十分に加工に耐えられる。

又、水晶板13に形成している、凹形状の表面を、水晶板13などに貼り付けていているので、凹形状内部の方向からの支持が出来ないので、極く小さい研磨圧力でも、図61(d)に示しているような、Plano - Convex型形状、又は15 Concavo-Convex型形状に研磨加工することが出来る。

図64に示すように、水晶、硬質ガラス、金属、又はその他の素材で出来ている板形状の、穴64を形成した、第4の加工補助具66の上に、松脂などの接着剤を使用して貼り合わせた後、凹形状を形成している水晶板13の裏面と第4の加工補助具66の一面を、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工する。そうすると、第4の加工補助具66に形成している穴64の内部に、酸化セリウムなどの研磨剤65が上下のラッピングプレート17及び18の研磨圧力により、閉じ込められて、穴64内部の内部圧力は均衡状態となるが為に、水晶板13の振動部分の厚さを、1.0 μ mから0.1 μ m以下の、極限まで薄くしても、破損することなく研磨加工を行なうことが出来る。

尚、図64の図中にて、うすく黒く塗っている部分が、研磨剤65が閉じ込められて、図64(b)の上下からの矢印にて示すように研削、又は研磨加工圧力と、凹形状内部の、内部圧が均衡状態となっている部分であるが、凹形状

を形成していない、裏面からの研磨加工圧力が内部圧力より強くなると、図 6 1 (d) に示しているような、Plano - Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状となる。

図 6 4 に示している、晶板 1 3 に形成している凹形状と、ほぼ同じ穴を形成 5 した、第 4 の加工補助具 6 6 に、凹形状を形成した水晶板 1 3 を貼りつけて加工する理由は、次の通りである。水晶板 1 3 だけで研削、研磨加工を行なうと、水晶板 1 3 に凹形状を形成している表面と、裏面とでは上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 の研磨圧力が全く異なるが為に、条件により異なるが、例えば、図中に示す条件の場合、水晶板 1 3 の裏面を $1 \mu m$ 削り取るのに対して、 10 凹形状を形成している表面は、10 倍の $10 \mu m$ 位の割合にて削り取ることになるので、凹形状を形成している表面に、第 4 の加工補助具 6 6 を貼り付けて加工しなければ、凹形状を形成している表面が、全くなくなるので、第 4 の加工補助具 6 6 を使用して、凹形状を形成している、水晶板 1 3 の表面が、研磨加工されないように、保護する必要性がある。

15 尚、図 7 1 から図 7 8 にて説明しているように、振動部分の直径を一定、例えば、0.5 mm とした場合、外径の直径を、大きくすればするほど、凹形状を形成している表面と裏面の研磨圧力の差は小さくなるので、第 4 の加工補助具 6 6 を使用して、凹形状を形成している、水晶板 1 3 の表面が研磨加工されないよう、保護する必要性がなくなる。

20 図 6 5、図 6 6、図 6 7、図 6 8、図 6 9 及び図 7 0 に示すように、図 6 1 に示している水晶板 1 3 と同じ形状の、厚さが $80 \mu m$ で、凹形状の深さが $60 \mu m$ で、直径が 2.0 mm の角形状の場合と、直径が 1 inch の角形状の場合の 2 種類の、凹形状を形成した水晶板 1 3 を、水晶、硬質ガラス、金属、又は 25 その他の素材で出来ている第 1 の加工補助具 1 1 及び 1 1' と、第 2 の加工補助具 1 9 を使用して形成した。そして、第 1 の加工補助具 1 1 の上に、凹形状を形成した加工面を、第 1 の加工補助具 1 1 及び 1 1' の真上に、そのままの状態にて載置（ただ置くだけ）するか、又、図 6 6 及び図 6 8 に示しているように、松脂、又はパラフィン、又は寒天などの Agarose などの接着剤を使用して、第

1 の加工補助具 1 1 及び 1 1' の真上に、凹形状を形成した水晶板 1 3 を、松脂などの接着剤を使用して貼りつけた後、(図面状においては、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 は省略している) 図 1 6 に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 を使用して、片面は凹形状を形成している水晶板 1 3 の裏面を研磨加工し、もう一方の片面は、第 1 の加工補助具 1 1 及び 1 1' の裏面を研磨加工することで、凹形状を形成している、水晶板 1 3 の裏面だけを研磨加工することが出来る。したがって、水晶板 1 3 に形成している、凹形状の寸法を変化させることなく、極く薄く、小さい口径から、大口径の基板まで、研磨加工することが出来る。

10 尚、図 6 6 及び図 6 8 に示している黒塗りの部分は、凹形状を形成している凹形状の内部に、松脂などの接着剤層 5 9 を注入して、水晶板 1 3 に形成した、凹形状内部を補強している状態を示している。

15 図 6 5 及び図 6 6 は、1 個ずつの加工に関しての説明をしているけれども、図 6 7 、図 6 8 、図 6 9 及び図 7 0 に示しているのは、直径が 1 inch の角形状の基板の形状を使用した場合の加工に関しての説明をしている。

20 尚、1 inch の角形状の基板を使用した場合には、図中に示している、厚さが 6.1 μ m で、直径が 2.0 mm の角形状で、振動部分の厚さが 1.0 μ m から 0.5 μ m 位の、水晶振動子が、1 枚の 1inch の基板から、約 56 個の水晶振動子が出来るので、基板の直径が大きくなればなるほど、1 個当たりの製造コストは安くなる。

25 図 6 7 、図 6 8 、図 6 9 及び図 7 0 が異なる相違点は、第 2 の加工補助具 1 9 の高さと、第 2 の加工補助具 1 9 の材質が超鋼で出来ているのか、又は硬質ガラスなどの材料にて出来ているのかの相違点を示している。

30 図 6 9 及び図 7 0 に示しているのは、凹形状を形成した水晶板 1 3 の、凹形状を形成した裏面と、第 2 の加工補助具 1 9 を一緒に研磨加工している状態を示しているのに対して、図 6 7 及び図 6 8 に示しているのは、凹形状を形成した水晶板 1 3 の高さよりも、第 2 の加工補助具 1 9 のほうを低くすることにより、第 2 の加工補助具 1 9 は研磨加工することなく、凹形状を形成した水晶板

13の裏面と、第1の加工補助具11の裏面を研磨加工している状態を示している。

尚、図69に示している、第2の加工補助具19は、水晶と同じ材質の石英などで出来ている硬質ガラスを使用して出来ているのに対して、図70に示している、第2の加工補助具19は、超鋼などの金属で出来ていることによる、相違点を示している。超鋼を使用する利点は、水晶板13の直径が大口径にあっても、研磨加工による、周辺のダレが起こらない。

又、図67、図68、図69及び図70の、図中(b)に示しているように、RIE加工にて $18\mu m$ を除去した後、残りの $1\mu m$ を、図中(d)に示しているように、機械的な研磨加工を行なう構成としてもよい。図中(c)に示しているように、機械的な研磨加工だけで、 $19\mu m$ の全部を研磨加工してもよいのはもちろんである。

又、図64にて説明したと同じように、図65、図69及び図70の図中、うすく黒く塗っている部分に、研磨剤65が閉じ込められる。すなわち、上下のラッピングプレート17及び18の研磨圧力と内部圧力が均衡状態になるよう、穴64を形成している第1の加工補助具11及び11'を使用することにより、凹形状を形成している水晶板13の、凹形状の内部に研磨剤65が閉じ込められることで、研磨圧力と、凹形状内部の内部圧力が均衡状態となるために、振動部分を、 $1.0\mu m$ から $0.1\mu m$ 以下の、極限まで薄くしても、水晶板13が破損しない。又、水晶板13の出来あがりの形状としては、図61(d)、及び図64(d)に示しているような、Plano-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状となる。

尚、穴64を形成した、第1の加工補助具11及び11'に、凹形状を形成した水晶板13を固定する手段としては、ただ置くだけでもよいし、松脂などを使用して貼り付けてもよいが、出来るだけ、ただ置くだけにて、研削、研磨加工するほうがよい。

図71、図72、図73、図74、図75、図76、図77及び図78は、厚さが $80\mu m$ で、直径が 2.0 mm 、 3.0 mm 、 4.0 mm 、 5.0 mm 、

6. 0 mm又は1 inch以上の角形状で、凹形状の深さが60 μ mの水晶板13を、図16、図20及び図21に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、キャリア37を直接に使用して、粗研削加工から、仕上げの研磨加工を行なっている状態を示している。

5 図71及び図72に示すように、厚さが80 μ mで、直径が6.0 mmの角形状で、凹形状の深さが60 μ mで、振動部分の直径が0.5 mm \times 0.5 mmの角形状か、又は直径が0.5 mmの丸形状の水晶板13を、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、粗研削加工から、仕上げの研磨加工を行なうと、上部のラッピングプレート18にて加工する面積が4 mm² (2 mm \times 2 mm \rightarrow 4 mm²) であるのに対して、下部のラッピングプレート17にて加工する面積が3.75 mm² (4 mm² - 0.25 mm² = 3.75 mm²) であるので、上下のラッピングプレート17及び18にて、研磨加工を行なう研磨加工の取りしろが、水晶板13に形成している凹形状を上にむけている場合と、凹形状を下に向けている場合とでは、研磨圧力が、少々異なる。

15 尚、上下のラッピングプレート17及び18にての、研磨加工の取りしろを、出来るだけ同じ取りしろにするには、図中にて示しているように、振動部分の面積が、0.5 mm \times 0.5 mmと一定なので、凹形状を形成している水晶板13の直径2.0 mmを、例えば、3.0 mmとか、又は4.0 mmとか、又は5.0 mm、又は6.0 mmと水晶板13の直径を、大きくすることで、上下のラッピングプレート17及び18に加わる荷重を、ほぼ同じような荷重とすることが出来る。

20 例えば、水晶板13の直径を6.0 mm \times 6.0 mmとした場合には、凹形状を形成した、水晶板13の表面と裏面の面積の割合は、下記のような面積の割合となる。凹形状を形成した水晶板13の裏面の面積は、6.0 mm \times 6.0 mm \rightarrow 36 mm²で、凹形状を形成した表面の面積は、(6.0 mm \times 6.0 mm) - (0.5 mm \times 0.5 mm) \rightarrow 35.75 mm²となるので、裏面を100とすると、表面は99.3となるので、研削、研磨における取りしろに関しては、表面も、裏面も、ほとんど差がなくなる。

図71と、図72の図面が異なる相違点は、図72に示しているのは、凹形状を形成した水晶板13の、凹形状の内部に研磨加工を行なうことで、酸化セリウムなどの研磨剤65が水晶板13の、凹形状の内部に、研磨圧力により、閉じ込められて、凹形状の内部を、自然に補強してくれるが為に水晶板13の5 振動部分が、極く薄くなっても、破損することなく補強した後、研削研磨加工を行なっているところである。

図73、図74、図75及び図76は、図16、図20及び図21に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、研削研磨加工を行なう場合に、上下のラッピングプレート17及び18に同じ荷重が加わり、上下のラッピングプレート17及び18にて加工する、取りしろがほぼ同じ取りしろになるようにするがために、凹形状を形成した水晶板13の、凹形状を形成した表面が、上部のラッピングプレート18と、下部のラッピングプレート17に、均等になるように割り振っている状態を示している。

15 又、ラッピングプレート17及び18の上に、凹形状を形成した水晶板13の、凹形状を形成した表面と、凹形状を形成している裏面を交互に並べることで、上下のラッピングプレート17及び18に加わる、荷重が同一となるがために、凹形状を形成している表面と、凹形状を形成している裏面の、取りしろが同一となる。

20 尚、図74は、図72にて説明したように研磨剤65が、研磨圧力により、自然に水晶板13に形成している凹形状内部に閉じ込められて、凹形状内部を補強している状態を示している。

尚、この研磨剤65が凹形状内部に閉じ込められて、研磨剤65の遊離砥粒の、動圧による摩擦抵抗により、凹形状内部が、段々と、研磨加工される状態25 は、フロートポリシング加工方法、そのものの加工方法の変形と考えると、よく理解することが出来る。両面研磨加工機械を使用して、容易に、フロートポリシング加工方法を、再現することが出来ることになったことは、大変に効果のある利点である。

図73及び図74に示しているように、最初に、水晶板13に、凹形状を形成した後、その後の加工手段として、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18に、同一の荷重が加わるように、凹形状を形成した面と、凹形状を形成した裏面を、交互に並べて研磨加工すると、凹形状を形成した水晶板13だけを加工している条件とはことなり、上下のラッピングプレート17及び18に、同一の荷重が加わることで、上下のラッピングプレート17及び18にて加工した水晶板13の、振動部分の厚さが均一となり、極く薄くて、精度が高い、振動子を多量に、安いコストにて製造することが出来る。

10 図71、図72、図73及び図74に示しているように、水晶板13に凹形状を形成している表面と、凹形状を形成していない裏面の水晶板13に、上下のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工すると、凹形状を形成していない裏面の、研磨圧力の圧力分布と凹形状を形成している表面の部分の圧力分布とが、極くわずか、異なるがために、図72(c)、図73(d)または図74(d)に示しているように、振動部分が凹形状を形成している表面の方向に、上からの圧力を受けて撓む現象が起こる。研磨剤65が凹形状を形成した表面に閉じ込められることで、上下の研磨圧力は、ある程度、均衡状態となるけれども、ある圧力以上の研磨圧力を加えると、図72(c)に示しているような形状の圧力分布の状態にて研磨加工することになるので、研磨加工の圧力を開放すると、図71(e)、図72(g)、図73(d)及び図74(d)に示しているように、逆に、外側に凸レンズ形状が飛び出す。そこで、図71(a)及び図74(a)に示しているように、水晶板13に、化学的なWet Etching加工、又は機械的な加工手段にて、凹形状の切り込み部分を平面形状に加工しておけば、水晶板13に、加圧する研磨圧力の強さを弱くすると、図71(e)に示しているように、平板形状とすることが出来る。又水晶板13に加圧する研磨圧力を強くすることにより、図74(d)に示しているように、Plano-Convex形状が形成される。又図72に示しているように、化学的な、Wet Etching加工、又は機械的な加工手段にて、水晶板13の切り込みの部分に、凸レンズ型

形状を、最初形成しておけば、Bi-Convex 型形状が形成される。又図 7 3 に示しているように、水晶板 1 3 の切り込みの部分に、凹形状を、最初形成しておけば、Concavo-Convex 型形状が形成される。したがって、これらは、図 2 (a) に示している形状と全く同じ形状で、しかも極く小さいレンズ (Convex 型形状) 形状であるために、水晶振動子としては、発振周波数の、電気的な特性が理想的に良くて、Q が高い、厚みスペリ振動モードで、波型が良くて、周波数が高い振動子及び共振子を加工することが出来る。

尚、上記の加工手段を使用すれば、水晶板 1 3 に、化学的な、Wet Etching 加工、又は機械的な加工手段を使用して、切り込み部分に、平面型形状、又は凸レンズ型形状、又は凹レンズ型形状を形成しておけば、水晶板 1 3 に形成している平面型形状、又は凸レンズ型形状、又は凹レンズ型形状の中心軸と全く同一の中心軸線上のレンズ型形状となり、左右が、完全に対称の、Bi-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状、又は Plano-Convex 型形状を形成することが出来る。その理由は、水晶板 1 3 に形成している凹レンズ形状、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状の圧力分布と全く同じ、圧力分布にて、凹レンズ形状、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状が形成されるからである。結果として、全く左右対称のレンズ型形状が出来ることになる。

図 7 5 に示しているのは、水晶板 1 3 の片側面だけに、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段を使用して、凹形状 (Single Inverted Mesa Type) を形成して、もう一方の片側面は平面形状とした、水晶板 1 3 の実物の測定図である。

尚、図面としては、図 7 4 (d) の形状を参照することとする。

図 7 6 は、図 7 4 に示している水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械を使用して、機械的な研磨加工手段を使用して研磨加工を行なった、図 7 5 に示している、水晶板 1 3 の凹レンズ形状を形成した裏面の、加工後の、振動部分の厚さ方向の形状を干渉縞で示している。

図 7 5 に示しているように、凹面側は加工されず、加工前の状態である平面を維持しているようにみえるけれども、極く僅かに、化学的に、Wet Etching 加工された、凹形状内部に、遊離砥粒の状態の研磨剤 6 5 が、上下からの研磨

圧力である、動圧を受けて、凹形状内部に研磨剤 6 5 が閉じ込められて研磨剤 6 5 が流動状態となることにより、フロートポリシング加工方法の原理の応用して、凹形状内部が、動圧の影響を受けて、加工変質層（フッ素化合物層）を、例えば、0. 2 μ m 前後、除去している。

5 それに対して、その反対側は、図 7 6 からわかるように曲面が形成されている。その高低差は約 5 μ m であり、Inverted mesa type を研磨加工することにより、Plano-Convex type に加工できたことになる。これは加工時の圧力により振動部分がたわみ、この形状が形成されたものである。また、そのリアクタンス周波数特性を図 7 8 に示すが、図 7 7 に示している加工素材である、化学的な
10 Wet Etching だけを使用して形成した水晶板 1 3 のときよりも特性が向上している。これは加工品質に優れる、機械的な研磨加工の長所と、化学的な、Wet Etching により発生する、加工変質層（フッ素化合物層）を、機械研磨加工により除去したことと、Plano-Convex 型形状のレンズ型形状が形成されたことによるものである。周波数から厚さを計算すると、中央部分は約 2 μ m、周辺部分
15 は 7 μ m 研磨加工されている。

尚、加工変質層、例えば、0. 0 6 μ m 前後を除去するだけでも、電気的特性を改善することが出来る。この場合には、Plano-Convex 型形状にはならないで、かぎりなく平板形状に、極く近い凸レンズ形状となる。

上記のことから、水晶板 1 3 を、化学的な Wet Etching 加工手段にて、凹レンズ形状などのレンズ型形状に加工した後、両面研磨加工機械（ラップ盤）の上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 を使用して研磨加工を行なえば、電気的特性のすぐれた水晶振動子の製作が出来ることが判明した。

尚、フロートポリシング加工方法の原理とは、遊離状態の砥粒である、研磨剤 6 5 が、被研磨物である、例えば、水晶板 1 3 などの表面上に、研磨圧力を受けて、衝突することにより、被研磨物の表面上を、極く穏やかに研磨加工を行なう方法である。したがって、水晶板 1 3 を、化学的な Wet Etching 加工手段にて形成した凹レンズ形状内部に、パット、又はスウェード 1 5 が接触をしなくとも、上下からのラッピングプレート 1 7 及び 1 8 の研磨圧力である、動

圧の作用により、凹レンズ形状内部を遊離砥粒が流動化するために、凹レンズ形状内部が研磨加工される。

図79及び図80は、化学的なWet Etching加工手段を使用して、両面に凹形状 (Double Inverted Mesa Type) を形成した水晶板13を、図71に示しているように、図16、図20及び図21に示している、両面研磨加工機械の上下のラッピングプレート17及び18を使用して、研磨加工している状態を示している。

図72にて説明したように、図80は、水晶板13に形成している両面の凹形状内部に、上下のラッピングプレート17及び18の研磨圧力により、酸化セリウムなどの研磨剤65が閉じ込められて、凹形状内部に閉じ込められた研磨剤65の遊離砥粒の摩擦抵抗により、凹形状内部が段々と上と下から研磨加工されている状態を示している。この研磨剤65が凹形状内部に閉じ込められている状態は、フロートポリシング方法そのものの加工方法の変形と考えてよい。又、化学的な、Wet Etching加工にて発生した、約0.2 μmから0.5 μmの加工変質層 (フッ素化合物層) を、図71にて説明しているように、両面研磨加工機械を使用して除去したために、一段と、電気的な特性が、すぐれている水晶振動子 (水晶共振子) の製作が出来る。

図81、図82及び図83は、化学的なWet Etching加工の加工手段、又は機械的な加工手段、又はその他の加工手段を使用して、凹形状を形成した水晶板13の、凹形状を形成した裏面からか、又は凹形状を形成した表面からRIE加工、又は化学的なWet Etching加工の加工手段を使用して、19 μm除去した後、RIE加工、又は化学的なWet Etching加工を行なうことにより発生した、約0.1 μmから0.5 μmの加工変質層 (酸化膜、又は化合物層、又は非晶質層) を、図71にて説明しているように、両面研磨加工機械により除去するため、上下のラッピングプレート17及び18で研磨加工している状態を示している。尚、図81及び図82に示しているように、水晶板13に形成した凹形状側を上に向けて、凹形状を形成した表面を上部のラッピングプレート18を使用して、又凹形状を形成している水晶板13の裏面を、下部のラッピ

ングプレート17を使用して研磨加工を行なう場合には、研磨加工を行なう取りしきが0.5μmと、極く少ないので、上下のラッピングプレート17及び18とともに、スウェード15を貼ったラッピングプレート17及び18でもよいが、出来れば、下部のラッピングプレート17は、鋳物などで出来ている金属板を使用するか、又は錫、又はプラスチック板、又はセラミックス板などの金属板で出来ているラッピングプレート17を使用し、上部のラッピングプレート18は、パッド、又はスウェード15などを貼ったラッピングプレート18を使用し、研磨剤65としては酸化セリウムなどの研磨剤65を使用して研磨加工しても、振動部分の厚さが、0.5μmと、極く薄いので、破損することなく、研磨加工することが出来る。上下のラッピングプレート17及び18とともに、パッド、又はスウェード15などを貼ったラッピングプレート17及び18を使用してもよいが、上下のラッピングプレート17及び18とともに、金属板、又はその他の素材で出来ているものでもよい。

又、図83に示しているように、水晶板13の凹形状を形成している表面と、裏面を交互に並べた場合には、上下のラッピングプレート17及び18とともに、パッド、又はスウェード15を貼ったラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工するとよい。図82、図83に示しているのは、図72にて説明しているように、酸化セリウムなどの研磨剤65が水晶板13に形成している凹形状の内部に、上下のラッピングプレート17及び18の上下からの研磨圧力により、閉じ込められて、極く薄い振動部分である、厚さが0.5μmの凹形状内部の、内部圧力と研磨圧力の均衡状態が維持される。そのために、上下のラッピングプレート17及び18に、パッド、又はスウェード15を貼ったものを使用しても、又はセラミックス板、又はプラスチック板、又は他の金属板の、ラッピングプレート17及び18を、使用しても、凹形状を形成した水晶板13を、極限まで、例えば、1.0μmから0.1μm以下の厚さにまで、加工しても破損することはない。

尚、上下のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工を行なった場合には、図64、図71、図72、図73及び図74に示しているような、

Plano-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状のレンズ形状に加工することが出来るが、図 8 1、図 8 2 及び図 8 3 に示している場合は、取りしろが 0. 5 μ m と小さいので、極く小さい、Plano - Convex 型形状、又は Concavo - Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状にしか加工が出来ない。しかし、極く小さくて、極く薄い形状の Plano-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状の振動子及び共振子を加工することが出来るので、水晶本来の電気的な特性が良い波形の発振が出来て、周波数の高い振動子と共振子を容易に加工することが出来る。

図 8 4 に示しているのは、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段を使用して形成した、Inverted Mesa Type (凹レンズ形状) に加工した水晶板 1 3 の、リアクタンス周波数特性の測定図である。使用した水晶板 1 3 の素材は A T カットなので、図 8 4 に示している水晶板 1 3 の振動部分の厚さは、リアクタンス周波数特性から計算すると、リアクタンス周波数特性が 91. 4 MHz なので、18. 271 μ m となる。

図 8 5 に示しているのは、図 8 4 に示している、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段を使用して形成した、Inverted Mesa Type (凹レンズ形状) に加工した水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械 (ラップ盤) を使用して、水晶板 1 3 の両側面から 0. 02 μ m の厚さを除去した段階での、リアクタンス周波数特性の測定図である。図 8 5 に示している振動部分の厚さは、リアクタンス周波数特性図から計算すると、リアクタンス周波数特性が 91. 4995 MHz なので、水晶板 1 3 の振動部分の厚さは、18. 25 μ m となる。

図 8 6 に示しているのは、図 8 5 に示している、Inverted Mesa Type の水晶板 1 3 を再度、両面研磨加工機械を使用して、両側面から、厚さとして、0. 217 μ m 除去した段階での、リアクタンス周波数特性の測定図である。図 8 6 に示している振動部分の厚さは、18. 034 μ m となる。

図 8 4、図 8 5 及び図 8 6 に示している、3 つの周波数の測定図を比較すると、図 8 4 に示している、化学的な Wet Etching 加工だけの加工手段にて形成した、水晶板 1 3 のリアクタンス周波数特性の測定図では、主振動の横に、か

なり複雑な副振動が存在しているけれども、図 8 4 の水晶板 1 3 の両側面から、
0. 0 2 μ m を、両面研磨加工機械を使用して、機械的な研磨加工にて除去
した、水晶板 1 3 のリアクタンス周波数特性の測定図である図 8 5 を見ると、
主振動の横に存在していた、複雑な副振動が、かなり小さくなっているのが判
5 る。さらに図 8 5 に示している水晶板 1 3 を、再度、両面研磨加工機械を使用
して、機械的な研磨加工にて、両側面から 0. 2 1 7 μ m 除去した、リアク
タンス周波数特性の測定図である図 8 6 を見ると、図 8 5 に示している周波数
の測定図よりも、より一段と、主振動の横にあった副振動が小さくなっている
ことが判る。

10 図 8 4、図 8 5 及び図 8 6 に示している、リアクタンス周波数特性の測定図
から判断することが出来るのは、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段にて
形成しただけの、Single Inverted Mesa Type (片側面が凹レンズ形状)、又は Double
Inverted Mesa Type (両側面が凹レンズ形状) の状態では、主振動の横に、かな
り複雑な副振動が存在するので、高度な電子機器、又は通信機器用の水晶振動
15 子としては使用することが出来ないが、図 8 5 及び図 8 6 に示しているように、
両面研磨加工機械を使用しての、機械的な研磨加工にて、水晶板 1 3 の振動部
分の両側面から、0. 0 2 μ m から 0. 2 3 7 μ m を除去するだけで、主振
動の横に存在していた副振動が、極く小さくなることにより、高度な電子機器、
又は通信機器用の、水晶振動子 (水晶共振子) として使用することが出来ると
20 いうことである。

図 8 7 は、図 8 6 に示している、リアクタンス周波数特性図の、振動部分の
表面を拡大した形状の測定図を示している。この振動部分の形状測定図から判
断することが出来ることは、0. 8 μ m 程の盛り上がりが出来ていることである。
もともとの形状は、図 7 4 に示している形状であるので、凹形状を形成
25 した水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なう
と、限り無く平面形状に近い凸レンズ形状に、極く僅かに、盛り上がることが
判った。水晶板 1 3 の素材を A T カットとした場合、厚みスベリ振動モードと
なるので、限り無く平面形状に近い、凸レンズ形状に研磨加工が出来るという

ことで、限り無く高精度で、リアクタンス周波数特性が良い、波型の発振子（共振子）を製作することが出来ることが証明されたことになる。

図 8 8 及び図 8 9 は、水晶板 1 3 の両面を、化学的な、Wet Etching 加工、又はその他の R I E などの加工手段を使用して、凹レンズ形状（Double Inverted Mesa Type）に形成した水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なっている状態を示している。

図 8 8 及び図 8 9 が、図 7 9、図 8 0、図 9 0 及び図 9 1 に示しているのと相違する点は、図 7 9 及び図 8 0 に示しているのが、振動部分の位置を、水晶板 1 3 の中心部分に形成しているのに対して、図 8 8 及び図 8 9 に示しているのは、振動部分の位置を、水晶板 1 3 の中心部分より、ずらして形成していることである。

図 8 8 及び図 8 9 に示しているように、水晶板 1 3 に形成している振動部分を、水晶板 1 3 の中心部分よりずらして形成すると、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 の、それぞれの研磨圧力が異なる為に、図 8 8 (e) 及び図 8 9 (e) に示しているように、研磨加工を行なう前の振動部分の形状が、平面形状であったのが、研磨加工を行なったあとでは振動部分の形状が、凸レンズ形状となる。

尚、図中、うす黒く塗っているところが、研磨剤 6 5 が遊離砥粒の状態となって、研磨圧力（動圧）が高くなり、研磨剤 6 5 が閉じ込められ、研磨剤 6 5 が流動化しているところである。

図 8 8、図 8 9、図 9 0 及び図 9 1 に示すように、その両面に、化学的な、Dry Etching、又は化学的な、Wet Etching 加工、又はその他の加工手段を使用して、凹形状を形成した水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なうと、通常でも、下のラッピングプレート 1 7 にかかる荷重が 5 5 % で、上のラッピングプレート 1 8 にかかる荷重が 4 5 % となる為に、5 5、4 5 の割合にて、水晶板 1 3 に加わる荷重が異なるので、極く僅かではあるが、図 8 8 (e)、図 8 9 (e) 及び図 9 1 (e) に示しているような、凸レンズ形状又は凹レンズ形状となる。

尚、図88及び図89に示しているように、振動部分を水晶板13の中心部分よりずらしていると、両側面からの動圧が異なる為に、図88(e)及び図89(e)に示しているような、凸レンズ形状になる。

片面 (Single Inverted Mesa Type)、又は両面 (Double Inverted Mesa Type) を、
5 RIE加工、プラズマエッチングなどのDry Wet Etching加工、又は化学的なWet Etching加工、又は機械的な加工、又はその他の加工手段を使用して凹形状に加工した水晶板を、直接に、キャリアにより遊星運動させ、両面研磨加工機械の上下2枚のラッピングプレートを使用して、凹形状を形成した側の表面と、その反対側の裏面を上下から同時に、研削及び研磨加工を行なうと、下記
10 のような利点がある。

第1点は、凹形状を形成している深さの寸法だけ、水晶板の厚さが厚くなつたことと、同じことになるので、振動部分だけは、極限まで薄く加工することが容易に出来る。

第2点は、振動部分以外の、外周部分である保持部分は、凹形状を形成した深さの寸法だけ、厚い形状となることになるので、例えば、振動部分が、0.1 μm 位と薄くても、直接に、キャリアを使用して、ラップ盤を使用しての、両面研磨加工が出来ることになる (キャリアの限界は30 μm 前後)。

第3点は、凹形状に加工している水晶板の、凹形状を加工している表面と裏面を交互に、上下2枚のラッピングプレート上に、同じ割合の荷重が加わるようないい處にて、交互に並べることで、上下のラッピングプレートに加わる荷重は、全く同じとなるので、加工したときの取りしろの測定が容易になること、精度が高い、均一な加工が出来る。

第4点は、上下2枚のラッピングプレートに同じ割合の荷重が加わるように、交互に並べて、荷重を調節することで、凹形状を形成した水晶板の、凹形状を形成した側の表面の取りしろと、凹形状を形成した側とは反対の裏面の取りしろを同じ寸法とすることが出来るので、外周部分である保持部分 (例えば、60 μm 位) の厚さが厚くて、振動部分は、極限まで薄い (例えば、0.1 μm 位までの薄い)、凹レンズ形状を形成した水晶振動子を、安いコストにて、多

量に加工することが出来る。

第 5 点は、凹レンズ形状を形成した水晶板の凹レンズ形状内部に、研磨圧力の作用により、研磨剤が自然に閉じ込められる為に、凹レンズ形状内部を補強することになり、極限まで薄い、例えば、0. 1 μ m 以下（基本波で、1 6 GHZ 5 以上発振が出来る）の水晶振動子を、精度よく製作することが出来る。

第 6 点は、上下 2 枚のラッピングプレートに、ある一定以上の研磨圧力をかけると、凹形状を形成している表面の研磨圧力と、凹形状を形成していない裏面の研磨圧力に相違が出来るために、凹形状を形成している部分と、凹形状を形成していない外周の保持部分とでは、圧力が異なる圧力分布となり、したが 10 って、平面研磨加工機械である、両面研磨加工機械を使用して、極く直径が小さくて、かぎりなく薄い、例えば、直径が 0. 1 mm 以下のレンズ形状である、 Plano-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状の加工を容易に行なうことが出来る。Plano - Convex 型形状、又は Concavo-Convex 15 型形状、又は Bi-Convex 型形状などの、レンズ形状の振動子の場合、水晶振動子としては、理想的な厚みスベリ振動モードだけの振動となり、他の輪郭振動を伴わなくなるので、電気的な特性が良くて、周波数が高い振動子及び共振子を、安いコストで、多量に加工することが出来る。

第 7 点は、上下 2 枚のラッピングプレートを使用して、凹形状を形成している水晶板を研磨加工する場合、上下 2 枚のラッピングプレートにかける研磨圧 20 の圧力を調節することで、レンズ形状 (R) の大きさを、自由に調節することが出来る。又レンズ形状を発生させない、フラットの加工も出来る。又、 Plano-Convex 型形状にするか、又は Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状に加工するかは、研磨圧を調節することにより、変えることが出来る利点 25 もある。

第 8 点は、両面研磨加工機械を使用して、Plano-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状などの、レンズ形状を形成するので、平行精度、及び平面精度が、他の加工手段より、格段に良い出来あがりの加工を行なうことが出来る。

第 9 点は、各種の輪郭振動を伴わない、厚みスベリ振動モードの、中心軸が同一軸線上で、左右が完全に対称形状の、Plano-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状の、レンズ形状の振動子を容易に加工することが出来るので、振動子の理想に近い加工が出来る。

5 第 10 点は、水晶本来の電気的な特性を発揮することが出来る、片面が凸レンズ形状で、もう一方の片面が平面形状 (Plano-Convex 型形状) 又は、片面が凸レンズ形状で、もう一方の片面が凹レンズ形状 (Concavo-Convex 型形状)、又は両面凸レンズ形状 (Bi-Convex 型形状)、又はその他のレンズ型形状物体を加工することが、自然界の原理を使用することにより、容易に出来る。

10 第 11 点は、水晶には光軸があり、その光軸と加工軸を合致させる必要性があるが、Bi-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状の場合には、2 つの加工軸が発生し、この 2 つの加工軸と光軸の、計 3 つの中心軸を、かぎりなく 0 に合致させなければ、Q がかぎりなく高い水晶振動子を製作することは不可能である。

15 本発明の加工手段は、水晶板に形成した凹形状 (逆 M E S A)、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状に加工した形状に、上下のラッピングプレート 2 枚を使用して、圧力をかけて研磨加工を行なうので、水晶板に形成しているレンズ形状に基づいた圧力分布と全く同じ圧力分布にて、反対側に、全く同じレンズ形状を形成することが出来るので、上記の条件を満足させる加工手段となる。

20 以上、11 点の効果が発生する。

尚、凹形状を形成した水晶板の表面と裏面を交互に並べなければ、研削、研磨加工が出来ないわけではない。表面どうしでもよいし、裏面どうしでもよい。又、水晶板に形成した凹形状の内部に、松脂、Agarose などの接着剤を注入することによって、凹形状内部の強度の補強を行なうことも出来るが、Plano - Convex 型形状のレンズ形状の振動子とはならない。又、凹レンズ形状内部に研磨剤を閉じ込めることができない構造、すなわち、凹レンズ形状内部を空 (から) にしておくと、上下からの研磨圧力により、振動部分が薄いので、すぐに破損す

ることになる欠点もあるが、加工することが出来ないわけではない。

広く普及している両面ラップ盤（両面研磨加工機械）を使用して、High Frequency, Plano-Convex Type Quartz Oscillator の製作を行なうことが出来た。

また、Chemical Etching 時に生じると考えられる電気的特性を損なう加工変質層（フッ素化合物層、又は酸化膜）を、Mechanical Polishing で除去すれば、大幅な電気的特性の向上が図られることが判明した。

両面ラップ盤を使用した Mechanical Polishing の場合、約 60 MHz (A T カットの場合、厚さが $30 \mu m$) 以上の水晶振動子の製作は出来ない製造の限界があった。しかし、Chemical Etching された、Single Inverted Mesa Type、又は Double Inverted Mesa Type のものを加工素材とすれば、フレーム部分（保持部分）が $30 \mu m$ (A T カットの場合、約 60 MHz) になるまで加工を行なうことが出来る。その上、加工時に生じる振動部分の撓みが原因で Convex 形状を創成することが出来ることが判明した。

又、 $0.1 \mu m$ 以下の除去量でも、Chemical Etching されている表面を、Mechanical Polishing にて除去すれば、大幅な電気的特性の向上が図られることから、電気的特性を損なう層（加工変質層）の存在、ならびに Chemical Etching を行なった後の電気的特性を改善する方法が判明したことで、今後の電子機器業界に与える影響は、はかりしれないほど大きい。

凹形状を形成した水晶板の、凹形状部分の長さを長くするために、水晶、又は金属、又はその他の素材に穴を形成した板状の、第 4 の加工補助具を、凹形状を形成した水晶板に、接着剤などを使用して貼り付けるか、又は穴を形成した第 1 の加工補助具を使用することで、研磨圧力と凹形状内部に閉じ込められる研磨剤の内部圧力とが、自然界の原理にて、均衡状態となる為に、水晶板の振動部分を、 $1.0 \mu m$ から $0.1 \mu m$ 以下の極限まで薄く研削、研磨加工しても破損しないことが判明したことは、大変な現象の発見である。

平板形状、又は凹形状に加工している水晶板を、第 1 の加工補助具と、第 2 の加工補助具を使用して組み立てた加工補助具を使用して加工するか、又は第 3、及び第 4 の加工補助具を使用して加工するか、又はその他の形状の加工補

助具と、両面研磨加工機械を組み合わせて使用し、研削、研磨加工を行なうと、極く薄い平板形状、又は振動部分が極く薄い凹レンズ形状に形成している精度の高い水晶板を、安いコストにて、多量に製作することが出来る。

5 溝を形成している第 1 の加工補助具と、円筒形状の形状をした第 2 の加工補助具の、2つの部品を使用して組み立てた加工補助具であれば、2つの部品とともに、平板形状なので、両面研磨加工機械などを使用した、平面研磨加工の研磨加工手段を使用しての、研磨加工が容易に出来るので、かぎりなく、平行精度が良くて、コストが安い、加工補助具を、簡単に製作することが出来る。

10 尚、加工補助具は消耗品なので、精度が良くて、コストが安いことは重要なことである。又、第 3 の加工補助具も、第 2 の加工補助具と同じ形状なので、上記の理由と同様である。

15 R I E 加工の加工手段を使用することなく、水晶板の片側面上に、化学的な Wet Etching 加工の加工手段を使用して、凹レンズ型形状（逆 MESA 型形状）を形成した後、第 1 の加工補助具と、第 2 の加工補助具を使用して形成した加工補助具を使用するか、又は第 3 の加工補助具を使用するか、又はその他の形状の加工補助具を使用して、凹レンズ型形状を形成した裏面と、加工補助具の一面の両面を、両面研磨加工機械を使用して研磨加工すると、極限まで薄く、水晶板に形成している振動部分を、研磨加工をすることが出来ることになり、下記のような利点がある。

20 ①水晶板の振動部分を極限まで薄く研磨加工しても、最初に化学的な Wet Etching 加工の加工手段にて、凹レンズ型形状を形成しているので、外周部分が振動部分より厚くなり、したがってハンドリングに困難を伴うことがない。これにより極く薄い振動部分の研磨加工が出来る。

25 ②R I E 加工の加工手段を使用しなくとも、水晶板に歪を発生させることなく、1 inch から 2inch 以上の大口径の水晶板の研磨加工が出来る。歪が発生しにくいのは、加工補助具に載置（ただ置くだけ）して研磨加工が出来るからである。

③R I E 加工の加工手段では、イオン粒子が水晶板上に、激突するときに発生する高熱による影響、及びイオン粒子が、水晶板上に激突するときの衝撃によ

る振動で、水晶板上に、極く小さい縫（ヒビ）が発生することにより、水晶板の結晶構造にダメージを与えるが、機械的な研磨加工の加工手段は、水晶板の結晶構造に与えるダメージは、ほとんど発生しない利点がある。又化学的な Wet Etching 加工の加工手段は、R I E 加工の加工手段ほど、水晶板の結晶構造に悪い影響は与えないけれども、機械的な研磨加工ほど電気的な特性は良くない加工方法である。

④上記の加工手段は、水晶板を極く薄く、研磨加工することが出来る加工手段なので、加工補助具に載置するだけでなく、加工補助具の表面上に、Agarose などの寒天、松脂、又はパラフィンなどの接着剤を使用して貼り付けて研磨加工しても、極く薄く（例えば、1 μ m 内外の厚さ）研磨加工することが出来る。振動部分の直径は 1 μ m の 100 倍あれば振動するので、長さ方向の歪が、少々発生しても、問題とはならない。当然、振動部分が厚いと、長さ方向の直径が大きくなるので、歪の影響も大きくなるので、歪は問題となる。これも振動部分を、極限まで薄くすることが出来る利点でもある。

⑤A garose などの寒天、松脂、又はパラフィンなどを使用して、凹レンズ型形状を形成した表面を、加工補助具の表面上に貼り付ける場合、1 枚の水晶板の表面上に、複数個以上（例えば、数 10 個から数 100 個）の、凹レンズ型形状を形成している水晶板を、加工補助具の表面上に貼り付けるのでなければ、凹レンズ型形状の内部の空気が、熱（70 °C 位）の影響により膨張するので、1 個ずつ加工補助具に貼り付けるのは、大変に困難である。

⑥化学的な Wet Etching 加工の加工手段と、機械的な研磨加工の加工手段の 2 つの加工手段だけを使用して、水晶板を研磨加工するのであれば、水晶振動子、又は水晶共振子としての、電気的な特性が良い、周波数の波型を発振する。R I E 加工の加工手段は出来るだけ、使用しないほうがよいけれども、短い時間使用するのであれば、別に問題はないし、又 R I E 加工の加工手段を粗加工の加工手段と、微調節用の加工手段として使用するのであれば、R I E 加工の加工手段は、すばらしい加工手段である。

⑦上記の加工手段は、1 inch から 2 inch 以上の水晶板（基板）に対応するこ

とが出来るので、1枚の水晶板から、数100個から数1,000個を、1枚の水晶板より製作することが出来る加工技術でもある。

圧電素子被研磨物を、化学的な、Wet Etching 加工して、Single Inverted Mesa 形状（片面が凹形状）、又は Double Inverted Mesa 形状（両面が凹形状）の、凹 5 形状の形状に加工し、その後、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又 10 はその他の、機械的な研磨加工手段を使用して、仕上げの研磨加工することで、エッティング加工で作ることが出来ないスムーズラインを形成することが出来るので、蒸着による電極の形成が容易となる。さらに、これにより、化学的な、Wet Etching 加工、例えば、フッ化水素酸、又は NH_4HF_2 、又は HF などの溶液 15 を使用して水晶板を加工すると、水晶板の表面上に、例えば、0.01 μm から 0.1 μm 位の、極く薄い、フッ素化合物層（加工変質層）が、RIE 加工の加工手段を使用したときと同様に、出来る。これにより、水晶本来の、電気的 20 的な特性を低下させるので、RIE 加工の加工手段の場合と同じく、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段を行なったあとも、極く薄い、加工変質層、例えば、0.01 μm から 0.1 μm 位を除去する目的にて、機械的な研磨加工手段を使用して、加工変質層を除去すると、水晶本来の、電気的な特性が発揮出来て、Q が 25 高い発振子を加工することが出来ることが判明した。これにより、平板形状、又は凹レンズ形状、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状に加工した表面と裏面の両面から、研磨加工することで、極く薄くて、周波数が高い水晶振動子の加工が出来ることと、副振動が減少する利点がある。

圧電材料、特に水晶は硬脆材料であるために、加工方法は、ラッピング加工方法と、RIE 加工によるエッティング、又は化学的な Wet エッティング加工方法、特に、化学的な Wet Etching に限定され、薄片化に限度があった。そこで、両者の長所を活用して、新しい RIE 加工による、エッティング・ポリッキング、又は化学的な Wet Etching を併用した加工方法、又は RIE 加工を使用した、エッティング・ポリッキング・化学的な Wet エッティング併用の加工方法の、水晶などの圧電素子加工技術を開発することで、厚さが 0.125 μm （固有振動周波数約 12.0 GHz）の超高性能、高周波用振動子の開発を行なうこと

が出来た。

さらに、R I E 加工による、エッチング・ポリッシング、又は化学的な Wet Etching 加工の併用、又はR I E 加工による、エッチング・ポリッシング・化学的な Wet エッチング加工、又はR I E 加工の併用を繰り返す加工技術を用することで、将来、 $0.06 \mu\text{m}$ 台（固有振動周波数約 24, 0 GHz）の発振素子の開発も可能である。尚、水晶板の振動部分の直径が、振動部分の厚さの 100 倍以上あれば振動するので、水晶板を極限まで薄くして、固有振動周波数を高めれば、高めるほど、振動部分の直径は小さくなるので、水晶板の面積は、固有振動周波数に比例して小さくなる。ということは、振動数を高めれば、高めるほど、水晶板の面積当りのコストを安く製作することが出来ることになる。さらに、振動数を高めれば高めるほど、高い付加価値の商品となる利点がある。

凹レンズ形状、又は凸レンズ形状、又は平板形状に、R I E 加工、プラズマエッチング加工、又はイオンミーリングなどの、化学的な Dry Etching 加工、又は Wet エッチング加工を行い、凹レンズ型形状、又は平板形状、又はその他の形状を形成した面の裏面の全面を、R I E 加工によるエッチング加工、又はその他のエッチング手段にて、ある一定の厚さに薄くした後、その後の加工手段として、機械研磨加工を行って、水晶板を加工するのであれば、例えば、厚さが $75 \mu\text{m}$ の水晶板に、深さが $25 \mu\text{m}$ の凹レンズ型形状を形成し、振動部分の厚さを $10 \mu\text{m}$ 残すと、残りが $40 \mu\text{m}$ 残る。この残りの $40 \mu\text{m}$ の内、 $35 \mu\text{m}$ を、凹レンズ型形状の裏面からだけ、R I E 加工、又はプラズマエッチング、又は化学的な Wet エッチングなどの手段にて、削り取った後、残りの $5 \mu\text{m}$ を、機械加工で研磨加工することで、R I E 加工、化学的な Wet Etching、又はプラズマエッチングなどで加工した後に出来る、数 μm の凸凹（加工変質層）を削り落として、加工面を、鏡面に研磨加工することが出来る。上記の加工方法であれば、機械加工を行う部分は、 $5 \mu\text{m}$ 前後だけ、研磨加工を行うことになるので、歪が全く、又はほとんど発生しない利点がある。さらに、厚さが $75 \mu\text{m}$ 以上の場合、例えば、厚さが $100 \mu\text{m}$ の場合でも、R I E 加

工によるエッチングにて削り落とす取りしろの部分が、厚さが 75 μm の場合には、35 μm であったのが、厚さが 100 μm の場合には、60 μm の厚さになるだけなので、RIE 加工による、エッチングにて削り落とす、厚さが 35 μm から 60 μm になっても、さほどの影響はない。何故ならば、RIE 加工による、エッチング加工で出来た数 μm の凸凹を、その後の機械研磨加工にて、鏡面加工を使用して、削り落とすことが、出来るからである。この水晶板の厚さが、75 μm の場合よりも厚さが厚い、100 μm 以上の厚さの水晶板のほうが（例えば、直径が 2.0 inch 以上の直径が大きい基板）加工が、容易に出来る。水晶板の、直径が大きくなればなるほど、水晶板の厚さが、厚くなる。ということは、本発明の利点は、下記の 4 点に要約することが出来る。

①大口径 2.0 インチから 3 インチ以上の、水晶板の基板に対応することが出来るので、コストが安くて、しかも付加価値の高い、高い周波数を発振する、発振子が出来る。

②水晶板の厚さが厚くなっても、全くか、ほとんど、歪を発生させることなく、極く薄く加工する加工方法であるので、大口径 2.0 インチから 3 インチ以上薄い水晶板（基板）を製造することが出来る。

③RIE 加工による、エッチング・ポリシング併用、又は RIE 加工を使用した、エッチング・ポリシング・化学的な Wet エッチング、又は RIE 加工を併用した加工方法なので、極限まで、薄く、加工が出来る。

④片面 (Single Inverted Mesa Type)、又は両面 (Double Inverted Mesa Type) の形状に、精度の高い、凹レンズ形状、又は凸レンズ形状を形成した加工を行うことが出来る。又平板形状の加工も出来る。

上記の技術を達成可能とするには、出来上がりの水晶板の厚さが 50 μm から 10 μm 前後の厚さなので、本発明の加工補助具を使用しなくてもよいが、精度が高くて、コストが安い、水晶板を製作しようとすれば、本発明の加工補助具を使用するほうが、容易に、極く薄い、大口径の基板である、2.0 インチから 3 インチ以上の加工を行なうことが出来る。

Plano-Convex 型形状の場合も、ある一定の形状の、Plano-Convex 型形状を形

成しておけば、Plano-Convex 型形状を形成している面とは反対の裏面から、RIE 加工などのエッティング加工を行ない、エッティング加工と、片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を併用して、Plano-Convex 型形状の反対面裏面を加工及び研磨加工することで、極く薄い、Plano-Convex 型形状を、容易に形成することが出来る。
5

さらに、Bi-Convex 型形状の場合も、ある一定形状の Bi-Convex 型形状を形成しておけば、Bi-Convex 型形状を形成している面の両面から、RIE 加工、又は化学的な Wet Etching の加工手段などのエッティング加工を行うことで、相似形状に縮小して、極く薄い、Bi-Convex 型形状を形成し、その後、Bi-Convex 10 型形状の両側面から、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なって、RIE、又は化学的な Wet Etching などにて発生した、加工変質層を削り取ることで、電気的な特性の良い、振動子を作ることが出来る。

C_2F_6 などのフッ素系ガス、又は塩素系のガス、又はアルゴンなどのガスを使用して、RIE 加工技術にて、水晶板を凹形状に加工する場合、レジストを 15 塗布し、マスキングして、厚さが厚い金属被膜を形成するか、又はその他の材質で出来ている被膜を形成するか、又は水晶板、又は石英板、又はタングステンシーサイド、又は鉄、又はその他の素材に超音波加工などを使用して、例えば、0.5 mm 前後の穴を形成した水晶板又は石英をマスク板として使用するかにより、水晶に 15 μm 以上の凹形状を形成した後、RIE 加工にて発生した加工変質層（非晶質である、石英、又はシリコンの単結晶、又はシリコンの多結晶、又はシリコンの酸化物、又はその他の酸化物に変化した、アモルファス部分）を除去する為の、機械的な研磨加工を行なうことで、RIE 加工技術の欠点を補うことが出来る。これにより、RIE 加工技術を使用しても、水晶の電気的な特性が、すばらしく良好で、周波数の高い水晶振動子及び水晶共振子の製作が出来ることになった。
20
25

尚、現在の技術では、金属被膜のマスキングを使用して、RIE 加工を行うと、金属被膜の限界から、深さが、15 μm の凹形状を形成することが限界であるけれども、本発明の、水晶板又は石英板又はその他の素材に、例えば、0.

5 mm前後の穴を形成した水晶板などをマスク板として使用するならば、深さに限界がなくなり、如何なる深さの凹形状でも形成することが出来る利点がある。

水晶板の表面上にレジストを塗布して被膜を形成する場合、デュポンMRC 5 ドライフィルム(株)が発売している、商品名がリストンFRA 063-50(レジストの厚さ50 μm)、リストンFRA 063-50×2(レジストの厚さ100 μm)、又はリストンFX-150(レジストの厚さ50 μm)のドライフィルムを水晶板に貼り付けて、水晶板の表面上にレジストすると、簡単に水晶板の表面上にレジストを形成することが出来る。その後、必要である部分、10 又は不必要的部分を残すために、マスクをかけて、露光装置を使用して露光し、露光したあと必要な部分、又は不必要的部分を炭酸ナトリウム及び水酸化ナトリウムなどの溶液を使用して現像して除去した後、RIE加工の加工手段を使用してエッチング加工した後、再度、仕上げの研磨加工、又は化学的なWet Etchingの加工を行う加工方法ならば、設備投資の資金が、極く、少ない資金 15 にて、多量に、極く薄くて、精度が高い、水晶振動子、及び水晶共振子を製造することが出来る、ことになる利点もある。

現在、ATカットの水晶で、直径が1 inch、又は2 inchの場合、水晶板の厚さは、最も薄いもので、75 μm 位が、製造の限界である。この75 μm が、最も薄い、厚さの水晶振動子を、多量生産にて製作しようとすれば、ATカットの場合、直径が2インチの基板を使用することになる。ここで問題なのは、極く薄くて、精度が高くて、周波数が高い、水晶振動子を製作することと、多量生産にて、水晶振動子を安く製作することとは、相反する関係にあることである。

上記の問題を解決する手段として、水晶板を、極く薄く加工するのに、本発明の加工補助具を単独にて使用するか、又は水晶板を、加工補助具とRIE加工を併用して、RIE加工と、機械的な研磨加工を、併用して、RIE加工と、機械的な研磨加工を行うことで、直径が2インチの場合で、厚さが75 μm に、製造の限界がある基板の厚さを、10 μm から20 μm 以下の厚さで、直径が、 25

2インチの基板を作ることが出来ることと、その後の加工で、凹形状を形成する場合に、化学的な Wet エッチング、又は RIE 加工により、除去する凹形状を形成するときの深さを、浅くすることが出来ることで、凹形状に形成する、水晶振動子を形成する振動部分の面精度が一段と向上する。又、本発明の加工
5 補助具を使用することで、基板の厚さが $10 \mu\text{m}$ 程度の、直径が 2インチの基板を作ることが、容易に出来るので、 RIE 加工、又は化学的なウェットエッチング加工と、ポリシング加工を併用した加工方法により、片面又は両面が凹形状の形状に加工することなく、平板形状のままの形状にて、高い周波数(例
えれば、ATカットで、水晶板の厚さが $10 \mu\text{m}$ の場合、167MHz)の水晶
10 振動子を、安価に、多量に、製造することが出来る利点もある。

現在の時点では、水晶板の直径が、1インチから2インチの場合、水晶の厚さは約 $75 \mu\text{m}$ に、製造の限界がある。又、水晶の直径が 3mm 前後の場合の、水晶の厚さは、約 $24 \mu\text{m}$ に製造の限界があるが、本発明の加工補助具を使用しての、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械などの、機械的な研磨加工
15 と、 RIE 加工、又は化学的な Wet エッチングである、化学的なエッティング手段を併用することで、上記の限界を解決することが出来る。

上記のような製造の限界を、本発明の加工補助具を使用した機械研磨加工の手段を使用するか、又は加工補助具を使用しないでもよい機械研磨加工手段である、例えば、フロートポリシング研磨加工方法、又はその他の研磨加工方法
20 と、 RIE 加工、又は化学的な Wet エッティングを併用して、機械研磨加工 → RIE 加工 → 機械研磨加工、又は機械研磨加工 → RIE 加工 → 機械研磨加工 → 化学的な Wet Etching 加工を行うことで、直径が 1インチから2インチの場合の基板でも、容易に、厚さが $10 \mu\text{m}$ 前後の、厚さの水晶板を製作することが出来るので、下記のような利点がある。

25 ① 1インチから2インチ以上の基板でも、厚さが $10 \mu\text{m}$ 内外の、平板の水晶板が加工出来るので、167MHz 以上の水晶振動子を多量に安く製造することが出来る。

現在は、直径が 3mm の場合でも、 $24 \mu\text{m}$ に製造の限界があるので、せい

せい、約 70 MHz 前後に、製造の限界がある。

②機械的な研磨加工と、RIE 加工と、化学的な Wet Etching を交互に併用する加工方法なので、研磨加工による歪が発生しない利点もある。

③水晶板の出来上がりの、平行度、及び面精度がよい。

5 ④この加工手段は、水晶以外の圧電素材にも利用することが出来る。

現在、直径が 1 インチから 2 インチの場合の水晶板の場合、水晶の厚さが 7 5 μ m 以下の水晶板を製作することは出来ない。水晶板の厚さが、75 μ m に製造の限界がある為に、その後の加工手段である、化学的な wet エッティングにて、無理な、過度のエッティングを行うので、穴(ピンホール)が発生したりする 10 けれども、直径が 2 インチの場合で、水晶板の厚さが 10 μ m から 20 μ m 内外の厚さの、水晶板を製造することができると、その後の、エッティング加工による取りしろが少ないので、水晶板に与える影響が小さくなることにより、極く薄くて、精度が高い加工が出来る。

さらに、直径が、1 インチから 2 インチの場合で、水晶板の厚さが、10 μ m 15 から 20 μ m 内外の、極く薄い水晶板を製造するには、加工補助具を使用しての、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段と、C₂F₆などのフッ素ガスを使用した、RIE 加工、又は化学的な wet エッティング加工を併用して、交互に繰り返すことで、機械研磨加工による、取りしろ(研磨加工を行う厚さ)を出来るだけ小さくし、RIE 加工などのエッティング加工にて、取りしろを、出来るだけ大きくすることで、極く薄くて、直径が 20 大きくて、精度の高い水晶板である、水晶振動子を、革命的に、容易に、多量に製作することが出来る。

さらに、水晶板の直径が、例えば、1 インチで、厚さが 10 μ m の水晶板(基板)が出来ると、厚さが 10 μ m の場合だと、水晶板の直径は、100 倍の直径があれば、振動子として振動するので、1 mm × 1 mm の面積があればよい 25 ことになり、厚さが、10 μ m で、直径が 1 インチの水晶板(基板)が出来ると、167 MHz の水晶振動子が、1 インチの水晶板、1 枚の水晶板から、400 個以上の水晶振動子が出来ることになるので、極端に、安くて、精度が高い、

水晶振動子の製造が出来ることになる。

尚、水晶板の厚さが、 $10\text{ }\mu\text{m}$ で、直径が1インチから2インチの基板が出来ると、ダイシングソーなどの機械を使用して、切断することなく、半導体を5 製造する手段と同じく、レジストを塗布するか、又はドライフィルム（デュポンMRC ドライフィルム社製）を使用してレジストし、直径が1 mmの、丸型形状にレジストして、露光したあと、必要な部分のレジストを残して、その後、RIE 加工の加工手段を使用して、直径が1 mmの丸型形状に割り貫く加工手段を使用するならば、直径が如何に小さくても、如何に、出来上がりの個数が多くても、簡単に丸型形状、又は4角型形状、又はその他の形状に割り貫くことが出来る。これも、水晶板が、極く薄い（厚さが $10\text{ }\mu\text{m}$ 前後）為に、RIE 加工を使用して、短い時間にて、割り貫くことが可能となる加工方法である。又水晶振動子及び水晶共振子としての形状としては、丸型形状の形状が、最も良い波型の周波数を発振する形状である。

水晶板、又はシリコン、又はガリウムヒ素、又はその他の電子材料に機械的な研磨加工を行なう場合、本発明の加工補助具を使用して、水晶板などの横向の動きは、加工補助具を形成する第2の加工補助具、又は第3の加工補助具の側壁部分をストッパーとして使用して保持し、縦方向の保持及び動きは、真空の吸着力を使用して、水晶板などを加工補助具に固定するのであれば、極く弱い、真空の吸着力を使用しても、水晶板などを、加工補助具に保持することが出来る。このように、極く弱い、真空の吸着力にて、水晶板などを、加工補助具に吸着することが出来ることで、真空の吸着力による、応力の発生が、極く小さいので、水晶板に与える歪が、極く小さくなることになり、真空の吸着力を使用することが出来る。これも、加工補助具と、真空の吸着力の、2つの効果を併用することで、水晶板を加工補助具に固定して、水晶板を片面研磨加工機械を使用して、機械的に、研磨加工することが出来る利点となる。

極く薄い、水晶板を研磨加工するのに、溝を形成した、加工補助具を使用して、水晶板を固定する場合、水晶板の側壁に接着剤層を形成して、水晶板を加工補助具に固定するならば、水晶板の厚さに関係なく、接着剤層の厚さを、厚

くすることができる所以、接着剤層が薄くなつても剥離する所以がない。

第1の加工補助具と、第2の加工補助具で形成された加工補助具を使用して、水晶板を研磨加工すると、水晶板を加工補助具に、全く接着剤を使用することなく、固定して、両面研磨加工機械を使用して研磨加工する所以出来るので、
5 接着剤を使用することにより起る歪の発生が起らないので、精度の高い加工を行う所以出来る。

水晶などの圧電素材を、RIE加工にて加工を行う場合には、フッ素系ガスとしては、 C_2F_6 を使用すると、加工表面の出来上がりの精度は、 CF_4 などよりも、 C_2F_6 を使用したほうが、一段と表面精度の出来上がり精度がよい。
10 又最後のRIE加工として、 O_2 を使用してクリーニングを行なうと、水晶板の表面上の不純物を除去する効果がある。

RIE加工を使用して水晶板などの圧電素材、又はその他の電子材料を加工すると、イオン粒子が水晶板などの表面に激突する。イオン粒子が激突した瞬間には、イオン粒子の運動エネルギーの作用により、水晶板の表面上において、
15 極く少量ずつ、水晶板が溶解し、水晶板の表面上で、キュリー温度（495℃位）以上の温度上昇が起り、水晶板がガス化して気化し、水晶板の粒子が、フッ素系のイオン粒子、又は塩素系のイオン粒子、又はアルゴンなどのイオン粒子、又はその他のイオン粒子などと化学的に反応または作用して、吹き飛んでいる現象が起っている。その為に、イオン粒子が加速されて激突した、水晶板などの結晶軸及び結晶方向のあるものの表面上では、極く薄い非晶質（結晶ではなくなること）の膜が形成されるので、圧電素材である、水晶板などの電気的な特性が、極端に低下する現象が起る。この現象を解決する手段としては、イオン粒子が激突して水晶板上に発生した、極く薄い非晶質の膜、又は酸化膜（部分）である加工変質層を、化学的なWet Etchingなどのエッチング手段を使用して除去するよりも、機械的な研磨加工手段を使用して除去するほうが、水晶板の電気的な特性を、一段と改善して、水晶板、本来の電気的な特性を發揮する所以出来る。

尚、水晶板の表面上に発生した非晶質の部分を除去する手段としては、化学

的な Wet Etching よりも、機械的な研磨加工手段を使用して、非晶質の部分を除去するほうが、製造工程上から考えると、歩留まりはよいけれども、歩留まりを考えなければ、化学的な Wet Etching を使用して、非晶質の部分を除去するほうが容易である。しかし、周波数を微調節する手段としては、R I E の加工手段、又は化学的な Wet Etching の手段も利用する必要性はある。しかし、機械的な研磨加工手段が、水晶板の電気的な特性を最も発揮することが出来るので、出来るだけ、最終仕上げ工程にては、機械的な研磨加工手段を使用するほうがよいが、極く少量の取りしろならば、化学的な Wet Etching を使用しても、又 R I E 加工を使用して微調節しても、水晶板の電気的な特性は、ほとんど低下しないので、最終仕上げ工程にては、化学的な Wet Etching、又は R I E 加工を使用してもよい。

現在の時点まで、R I E 加工の加工手段は、すばらしい加工技術であるけれども、R I E 加工の加工手段が、電子材料、及び圧電材料業界、特に圧電業界である水晶業界において使用されていなかった原因は次の通りである。例えば、水晶板に、R I E 加工を行なうと、イオン粒子を光の速さに近い速さまでに速くは加速出来ないが、通常、R I E 加工においては、電極間に 600 V 位の電圧で、電力としては 240 W から 300 W 位を与え、秒速数 10 km から 数 100 km の速さに、フッ素系、又は塩素系のイオン粒子を加速して、水晶板の表面上に激突させる加工手段である為に、イオン粒子が激突する水晶板の、極く薄い表面上においては、イオン粒子が激突した瞬間においては、イオン粒子の運動エネルギーにより、数 1,000 °C (例えば、1,500 °C から 3,000 °C) 位の高温になる。ちなみに、水晶及び石英が溶解する溶解温度は 1,140 °C である。熱の影響で、水晶板の表面は溶解して、極く一部分ではあるが、極く薄い、数 μm (例えば、0.2 μm から 1.0 μm 程度) の非晶質 (結晶ではなくなり、非晶質の石英、又はフッ素イオンが、水晶の酸素と化学反応を起こすことにより出来る、シリコンの膜、又はその他の酸化膜となる) の部分の、ダメージ層が出来ることで、水晶本来の電気的な特性が、極端に低下して、周波数の、発振の波型の形状が悪くなる現象がおこる。

さらに、R I E 加工を使用して水晶板を加工したときに発生する加工変質層（非晶質の部分）は、水晶板を加工した厚さには、ほとんど比例しないで、例えば、水晶板を $60 \mu\text{m}$ 削り取ったときも、 $10 \mu\text{m}$ のときも、数 μm のときも、加工変質層の厚さは $0.2 \mu\text{m}$ から数 μm 前後で、全くといってよいくらい、同じ厚さの加工変質層が発生する。ただし、当初、機械研磨加工を行なったときに出来た微小さなキズ及び不純物が拡大して出来た凸凹は、削り取る厚さに比例して大きくなる。その割合は、R I E 加工を使用して、 $10 \mu\text{m}$ 削り取ったときに、約 $0.1 \mu\text{m}$ から $1.0 \mu\text{m}$ 位の凸凹が出来るけれども、面積に対して 5% 位の面積の割合なので、無視することが出来る面積もある。又、R I E 加工の加工手段を使用して、水晶板を加工したときに発生する凸凹（加工変質層）の太さは、イオン粒子を加速して、水晶板に激突させる速さが、秒速数 km の場合と、秒速数 10 km の場合と、秒速 100 km の場合では、それぞれに凸凹の発生する太さは異なるので、面精度を高めたい場合（加工変質層を小さくしたい場合）には、イオン粒子速度を低速にしたイオン粒子を、水晶板に激突させると良い。だけども、イオン粒子を激突させることには変わりはないので、大なり小なり、凸凹（加工変質層）は発生する。

上記のことを解決する手段として、R I E 加工、又は化学的な Wet Etching の加工手段により発生した、水晶板の表面上に出来た、非晶質（加工変質層）の部分を、機械的な研磨加工手段、を使用して除去することにより、本来、水晶が持っている電気的な特性を発揮することが出来る、ということが判明した。このことは、今後の水晶振動子、及び水晶共振子などの、薄片化などの高精度の加工を行なう加工技術の進展となるばかりでなく、電子材料、及び圧電素材を加工する業界に与える影響は、はかりしれない。ひいては、今後の通信、電子業界に対して、基本波で、数 10 GHz 以上の発振が出来る、水晶振動子及び水晶共振子を、容易に製作することが出来ることが判明したことは、今後、起こる、産業革命のもととなる影響を与えることになる加工技術である。

Dry Etching 加工である、R I E 加工、イオンミーリング及びプラズマエッティング加工手段などの、Dry Etching の加工手段、又は化学的な、Wet Etching

加工の加工手段、又はその他の化学的な、Etching の加工手段にて、水晶板の表面上に発生した、加工変質層（非晶質、又は酸化膜、又は化合物層）を除去する手段としては、機械的な研磨加工手段として使用する機械は、如何なる機械を使用してもよいし、又、水晶板の厚さとして、0. 1 μm から0. 5 μm 5 程度を除去すれば良いので、小さく裁断、例えば、厚さが10 μm の場合には、直徑が1. 2 mm、又は2 mmの丸形状、又は角形状に裁断するか、又は1インチ、又は2インチの基板のままの状態にて、超音波振動、又はバレル研磨などを使用するか、又は人間の手作業でも、十分に、加工変質層を除去することは出来る作業もある。又、遊離砥粒を使用した、その他の加工手段を使用しても、簡単に、加工変質層を除去することが出来る作業もあるが、水晶本来の電気的な特性を、十分に発揮することが出来るのは、機械的な研磨加工手段を使用して加工変質層を除去するほうが、一段と電気的な特性が良い。

上記の加工手段は Single Inverted Mesa Type (片面が凹レンズ形状) でも、又は Double Inverted Mesa Type (両面が凹レンズ形状) でも、又は、平板形状 15 でも、又は、その他、如何なる形状の水晶板にでも応用することが出来る。又、加工変質層は、非晶質で、フッ素の化合物層、又は、その他の酸化物で出来て いる膜なので、電気的には絶縁層である。この絶縁層が水晶板の両側面の表面上に出来ている為に、水晶板の両側面に、コンデンサーが出来ている状態となっているのと同じことなので、水晶板の表面上に加工変質層が存在すると、水晶板の電気的な特性が、極端に低下して、発振の波型が悪くなり、Q値が低下 20 する原因となる。この加工変質層（例えば、0. 06 μm 前後）を除去することにより、水晶、又は水晶板本来の、電気的な特性が、極端に向上して、リアクタンス周波数特性の、発振の波型が良くなり、Q値が高くなる現象が判明した。

25 上述したように、本発明によれば、従来困難とされた厚みよりも、薄い、圧電素子及び、その加工方法を提供することができ、これにより副振動の少ない、振動子を提供することができる。

前述のように、機械的な研磨加工方法は、加工表面性に優れるが、加工補助

具となるキャリアの強度不足から、 $30 \mu m$ 以下の厚さの振動子を加工することが出来ない。化学的な、wet エッティング加工は、加工変質層が発生せず、基本的に薄片化に適する加工方法であるが、深くエッティング加工を行なうと、表面粗さの悪化や、Etch channels が発生する。R I E は、表面粗さの、悪化や、Etch 5 Channels の発生もなく、薄片化が可能であるが、イオン衝撃による Ion sputtering damage が、水晶振動子の電気的特性に、有害であることが知られている。

このように、各加工方法には、長所・短所があり、これらの、加工方法の長所を活用するには、最終表面を Mechanical polishing すればよいことになる。そこで Chemical Etching で製作された $30 \mu m$ 以上の厚さの、Single Inverted mesa 10 type blank を加工素材とすれば、Mechanical polishing の加工方法の限界を超えることが出来る。さらに薄くするためには、この平面側を R I E で除去する。これを Mechanical polishing することにより、品質の優れた薄片化が可能となる。このとき、薄い振動部分の破損が起きることなく、凸レンズ形状 (Plano-Convex Type) が形成される。また多量生産については、 $70 \mu m$ 以上の Quartz wafer 15 の利用を行なうと効果的である。

Chemical Etching, Reactive Ion Etching、プラズマ Etching、Mechanical Polishing の長所を有効に活用した、高周波用水晶振動子の製作方法を発明した。その結果、Single Inverted Mesa Type の、Quartz Blank を加工素材とすることにより、広く普及している、両面ラップ盤で、Plano-Convex Type の、高周波水晶振動 20 子の製作が出来た。

図 9 2 (a) に示しているのは R I E、イオンミーリング、又はプラズマエッティング (略して、Dry Etching とする) で作られた、水晶振動子のリアクタンス周波数特性の例を示している。固有振動周波数を示している、ピークに近接するところに、有害なピークが生じている。これは R I E の、イオンダメージ 25 によるものと考えられる。この R I E 処理面を手研磨したところ、図 9 2 (b) に示しているように変化し、有害なピークは、解消されて特性の改善が図られた。

このことから、R I E のイオンダメージ層は $0.3 \mu m$ 以下と、極く薄く、

Mechanical Polishing で除去可能であることがわかった。

図93に示しているのは、Chemical EtchingによるSingle Inverted Mesa Type の、Quartz Blankの作製、多量生産を考え、Quartz Waferにマスキングを行ない、Chemical Etchingで作製したものを使用した。その形状を、図93(a) 5 に示す。73.4 μmのQuartz Waferに、Chemical Etchingで振動部分の厚さを32.68 μmとした物であり、このEtchingの深さは、表面の粗さを良好に保った、限界の深さである。

この素材のReactance-frequency Characteristicを、図93(b)に示す。図1 (a)のRIEと似た、特性となっている。

図94に示しているのは、RIEによる薄片化、さらに、高い周波数のために、薄片化にRIEを利用した。しかし、次の工程の、両面ラップ盤によるMechanical Polishingで、イオンダメージ層を除去するために、RIE処理面は、Single Inverted Mesa Typeの、Quartz Blankの平面側とした。このRIE処理条件は、通常の条件で処理した。RF powerを下げる、Pressuerを上昇させることで、イオンダメージを少なくすることが可能である。しかし、Etching Rateを下げてしまうことに繋がり、first RIEでは高能率、third RIEではダメージの少ない条件と、3つの条件で処理した。なお、除去量の調節はfirst RIEの処理時間で行なった。この一連の、処理により、得られた加工素材のReactance-frequency Characteristicを、図94に示す。

こうした結果、Chemical Etchingのみによるもの、1種類と、これをRIE加工の加工手段にて加工したもの3種類、合計4種類の加工素材を作製した。

図95に示しているのは、Polishing Conditionsと、Mechanical Polishingの結果で、前述の加工方法で得られた、加工素材とする、Single Inverted Mesa Type の、Quartz Blankを、Dual-face Lapping Machineで研磨加工を行なう。このときの研磨加工の条件は、一般的な、加工条件にて研磨加工を行なった。ただし、薄い振動部分の破損、形状への影響を調べるために、Upper Lapping Plateを、鉄とアルミのものの、2種類を使用した。鉄のUpper Lapping Plateを用いた場合の、水晶に加わる荷重は、アルミに対し1.8倍となる。

両面研磨加工機械を使用して、Mechanical Polishing 研磨加工を、実施した結果、第 1 点の、薄い振動部分の破損については、全く発生せず、加工可能であった。第 2 点の、形状形成についても大きな成果を得た。その結果を図 9 5 に示す。この図 9 5 は、Single Inverted Mesa Type の、Quartz Blank の、平面側の振動部分を、干渉顕微鏡で形状を測定したものである。これから、振動部分は、凸レンズ形状に飛び出した形状が形成されていることがわかる。非常にきれいな球形状をしており、この反対側は、基本的には、平面が維持されている。このことから、平面を形成するための、Dual-face Lapping Machine であっても、Single Inverted Mesa Type の、Quartz Blank を加工素材とすれば、Plano-Convex Type の、Quartz Oseillator が作製できると言える。

この形状形成の原理は、次の通りである。振動部分だけが、薄い構造となっている、Single Inverted Mesa Type は、研磨圧力を受けることにより、空洞部分の方向に、たわみを生じ、あまり研磨されずに、加工が進行していく。加工が終了し、研磨圧力を除去すると、今度は、反対方向に復元し、飛び出した、凸レンズ形状となるものである。

図 9 6 に示しているものは、4 種類の加工素材と、2 種類の加工圧力で、研磨を実施したものの、Reactance-frequency Characteristic を、図 9 6 に示している。研磨前に対し、電気的特性は、飛躍的に向上した上で、高周波化が図られている。研磨前にみられた Spurious Resonance は、研磨加工により解消され、Sharp Resonance Curve を描いている。しかし、厚さが薄くなる、あるいは研磨圧力を大きくすると、Resonance Curve の鋭さは、維持されるものの、Spurious Resonance を、生じるようになる。適正な研磨圧力ならびに口径／厚さの比がある。

図 9 7 は、振動部分の厚さが、Form 及び Surface Roughness に、与える影響、振動部分の厚さによる、振動部の、中心部分の 1.44×1.31 mm の範囲で、peak to valley (P - V) の変化を調べた結果を示す。又、形成された、凸レンズ形状の、曲率半径の逆数の変化を図 9 8 に示す。アルミの定盤を用いた場合、両図とも同じ変化であるが、鉄製定盤の場合には、変化が異なっている

ことから、アルミの場合、きれいな球形状に対し、鉄の場合は、歪んだ球形状と思われる。一方、Single Inverted Mesa Type の、Concave 側は、厚さの変化により、凹面の度合いが増していった。これは、平面側に、凸レンズ形状が、形成される時の、加工歪みの、度合いを示すものと考えられる。最適研磨条件の選定、熱処理などにより、改善が可能であると考えられ、電気的特性の改善にも、繋がるものと期待している。

Concave 側の中心部分の、表面の粗さの変化を図 9 9 に示す。Polishing pad の接しない部分に対しても、遊離砥粒は作用し、表面粗さに変化を与えている。Chemical Etching のものは、R a 2. 6 nm であったものが、研磨により、
10 Chemical Etching 特有の、縞状の凹凸が顕在化し、R a 7 nm まで、悪化してくる。表面粗さが、悪化しない、R I E で Concave (Single Inverted Mesa Type、又は Double Inverted Mesa Type) を形成後、0. 3 μ m から 0. 4 μ m 程度を、Chemical Etching で、イオンダメージ層を除去することにより、この改善が可能である。

15 尚、図 8 に示している結果から、R I E 加工の加工手段により作製した、Double Inverted Mesa Type でも、Single Inverted Mesa Type と同じく、両面研磨加工機械を使用して、特性の改善が、出来ることが証明された。

これらの結果から、口径に対する厚さの比 (d / t) を 10 から 350、最適の比は 80 程度にすることにより、電気的特性に優れた、334 MHz 以上の、高周波水晶振動子の作製が可能になることが判明した。

1. Single Inverted Mesa Type の、Quartz Blank を加工素材とすることで、広く普及している、両面研磨加工機械（両面ラップ盤）、又は片面研磨加工機械、又はフロートポリシング機械、又はその他の研磨加工手段を使用することにより、電気的な特性に、優れた、高周波水晶振動子の製作が可能となった。
- 25 2. この開発した加工方法では、Single Inverted Mesa Type から Plano-convex Type の、形状を形成させることが出来た。

又、Double Inverted Mesa Type の、電気的な特性も、Single Inverted Mesa Type と同じく、電気的な特性の改善が出来た。

3. 口径比を80程度にすることで、334MHz以上の水晶振動子の製作が、出来ることが判明した。

次に、本発明の圧電素子の応用例として、音響-電気変換器について説明する。従来の、地震探査・予知には、現在、海洋観測、地下構造探査、地球磁気観測、GPSによる観測、2点間の距離のレーザ測定による、地核の移動測定などが行われているが、地震や津波による、空気の振動を観測することも、一つの予知方法である。

空気の振動を、記録や分析が、容易な電気信号に変換する手段として、集音マイクがあるが、雑音を拾いやすく、目的の振動数の音波を検出することが困難である。

図30 (a)～(e)は、本発明の圧電素子を利用した音響-電気変換器の、各実施例を示すものである。図において、円筒21及び54は、水晶又はニオブ酸リチウム又はその他の単結晶、又は、チタン酸バリウム又はその他のセラミックスなどの圧電効果を有する材質からなる。この円筒21及び54の中央部に受圧面22を形成し、その受圧面22に一対の電極23、24を形成し、電極23、24間の誘起電圧を測定するための増幅器25を接続している。(電極23、24及び増幅器25は図30 (a)のみ図示している)。図30 (a)は両凸レンズ(bi-convex)型、(b)は両凹レンズ型、(c)は平面型、(d)は周囲にRを形成した平面型、(e)は片凸(plano-convex)型を示している。図30 (a)に示しているように、栓55を2個使用して円筒21内部を密封して、A室を形成し、円筒54内部を密封してB室を形成する。A室内部も、B室内部も、ともに減圧(出来れば真空状態、又は不活性ガスを封入)した構造の、左右の円筒21及び円筒54が、横軸方向及び縦軸方向の振動をキャッチする構造とすることで、受圧面22を円筒21及び円筒54を形成しない場合に比較すると、受圧面22が、より強く振動をキャッチする。なお、上記の理由から、円筒21及び円筒54の直径が小さく、長さが長いほど、外部からの振動を受圧面22が受けやすくなるので、精度の高い、圧力センサーが出来ることになる。

尚、A室及びB室内部を減圧させない場合には、不活性ガスを注入するとよい。

図31は、図30(a)及び(e)に示している音響-電気変換器の上面図であり、穴又は空間部分47が受圧面22に形成されている。こうすると、左5 右の円筒21及び円筒54を振動させた振動が、図30(a)及び(e)に示している、Aの部分からBの部分に、又は、Bの部分からAの部分に、両端から自由に移動することで、Aの部分を振動させた振動と、Bの部分を振動させた振動が、中心部分において共鳴して共鳴現象を起すことで、穴又は空間部分47を形成しない場合に比較すると、より強く中心部分に形成している受圧10 面22を振動させる構造をしている。

次に、受圧面22の形成方法について説明する。基本的には、図32に示すように、水晶又は、チタン酸バリウム又は、ニオブ酸リチウム又は、その他のセラミックスなどの、圧電効果を有する材質からなる材質の丸棒30を、旋盤などの加工機械のチャック31で把持し、また金属球の表面にダイヤモンド砥15 粒を付着させた砥石32を先端に回転自在に設けた加工工具33を、ツール保持具34で把持する。砥石32は、図33に示すように、対向面がカットされた球体であり、支持アーム35の先端に、軸受け36を介して回転自在に取り付けられている。砥石32の周面には、図34(a)及びそのA-A拡大断面図である、図34(b)に示すように、V字状溝32aが形成されており、溝20 32aの内壁の一方が、砥石32の中心を通る面に含まれるような方向性を有している。この砥石32は、エアノズル40から、砥石32の周面に対して、接線方向に噴射される、空気のジェット流により高速回転(好ましくは8.00~50.000 rpm)され、被研削面をゆっくりと時間を掛けて(例えば毎分1μm)削っていく。この研削時に、噴水ノズル41から水を噴射して、砥石32の冷却と、削り屑の排出を行う。丸棒30は、砥石32が回転駆動されるとき、図32に示すように、軸心の回りに回転駆動され、従って砥石32により、円形形状又は、円筒形状の穴が形成される。又、上記にて説明した、研削又は研磨加工の手段の、他の利用方法としては、図36(e)に示してい25

るような砥石32"を使用することで、図2、図3及び図4に示しているような形状又は、その他の形状の、研削又は研磨加工に応用することが出来る。

尚、受圧面22の研磨面が凸状の場合は、図36((a)は正面図、(b)は平面図)に示すように、鼓型の砥石32'を使用する。受圧面22の研磨面がフラットな場合は、図36(c)に示すような、フラットな砥石32"を使用する。あるいは、図37に示すように、穴径よりもずっと小さい径の砥石32を用い、図33に示すものと同じ加工工具33を、NC装置などで受圧面22の曲面に沿って移動させながら、砥石32を回転させる。同時に、チャック31を回転させて丸棒30を回転させながら受圧面を加工する。又、穴又は空間部分47を形成する手段としては、図36(d)に示すような形状の砥石32"を使用すると、保持部分47を残して、容易に穴又は空間部分47を加工することが出来る。又、穴又は空間部分47を形成する手段としては、通常のダイヤモンドを電着したドリルを使用しても、穴又は空間部分47を形成することは、可能である。

尚、円形形状の穴の加工には、通常の軸の回りに回転する工具も使用でき、図38に示すような球面形状の砥石や、図39に示す円板面形状の砥石も使用できる。又、砥石32を使用して、研削加工が終了したならば、砥石32と同じ構造をした研磨用の研磨用砥石32""を、フェルト又はバフなどの素材を使用して製作し、研磨用砥石32""と砥石32を取り換えて、研磨用砥石32""を使用して研磨加工すると、仕上加工が出来る。フェルト又はバフで出来ている研磨用砥石32""の回転駆動の手段も、砥石32を回転駆動させる手段と同じく、フェルト又はバフに溝32(a)を形成して、エアノズル40を使用しての回転駆動とすると、容易に研磨加工を行うことが出来る。

図40及び図41に示しているのは、図33に示している構造をした、研削及び研磨装置の製作図である。実際に製作した砥石32の直径は20mmで、溝32(a)の深さは1mmで、溝の数を16個形成した構造の、研削及び研磨装置に、エアノズル40から、砥石32の周面に対して接線方向に噴射したときの空気圧と、砥石32の回転数を実測した実測値の数字を以下に示す。

①空気圧が0.5気圧の場合の砥石32の回転数は、約12,200 r p mである。

②空気圧が1.0気圧の場合の砥石32の回転数は、約22,000 r p mである。

5 ③空気圧が2.0気圧の場合の砥石32の回転数は、約37,500 r p mである。

④空気圧が3.0気圧の場合の砥石32の回転数は、約47,800 r p mである。

10 ⑤空気圧が4.0気圧の場合の砥石32の回転数は、ベアリングが耐えることが出来る限界である、約50,000 r p mである。

なお、図40及び図41に示している構造の研削及び研磨装置に取り付ける研削用の砥石32の代わりに、鉄、アルミニウム、銅などの金属又は、バフ又はフェルト又は、ガラス又はプラスチック又はセラミックス又は、その他の研磨用材質で製作された、図36(e)に示している研磨用砥石32""を使用することができる。この研磨用砥石32""と、ダイヤモンドペースト又は酸化セリウム又はアルミナ又はG C又は、他の研磨剤を使用して、図32に示している加工方法により、図2(a), 図3(a)または図4(a)に示しているような形状に、水晶などの圧電素材の研削及び研磨加工を同時に行う構成とする。

20 研削と研磨を同時に行うことが出来る理由としては、図36(e)に示す研磨用砥石32""の回転数を、ベアリングが耐えることが出来る限界である50,000 r p mまでの回転数で容易に駆動させることが出来るためである。研磨加工だけでも、極く短い時間に、能率よく行うことができるため、極く薄い、水晶などの圧電素材であれば、フェルト、バフ、鉄などで出来ている、研磨用砥石32""を使用して、研削と研磨加工の、2つの加工を、同時に行うことが出来る。

本発明は、通信機器や計測機器の基準周波数の発振源をはじめ、汎用コンピュータ、OA情報機器、家電製品用のマイコンのクロック発生などに利用できる。

5

10

15

20

25

請求の範囲

1. 任意の形状の平面状圧電素子基板の中心部に、一面側には平面状凹部が、他面側には凸レンズ状凸部が形成されている圧電素子。
- 5 2. 任意の形状の平面状圧電素子基板の中心部に、一面側には凹レンズ状凹部が、他面側には凸レンズ状凸部が形成されている圧電素子。
3. 任意の形状の平面状圧電素子基板の中心部に、一面側には凸レンズ状凹部が、他面側には凸レンズ状凸部が形成されている圧電素子。
4. 任意の形状の平面状圧電素子基板の中心部に、一面側には凹レンズ状凹部
- 10 が、他面側には凸レンズ状凹部が形成されている圧電素子。
5. 任意の形状の平面状圧電素子基板の中心部に、一面側には凸レンズ状凹部が、他面側には平面状凹部が形成されている圧電素子。
6. 任意の形状の平面状圧電素子基板の中心部に、一面側には凸レンズ状凹部が、他面側には凸レンズ状凹部が形成されている圧電素子。
- 15 7. 機械加工で研磨加工した圧電素子基板の片面又は両面を、化学的なエッチング加工を行って厚みを薄くし、この圧電素子基板の両面を機械加工で研磨することにより、前記化学的なエッチング加工で発生した微小な凹凸を除去することを特徴とする圧電素子の製造方法。
8. 第1の加工補助具の上面に溝又は段差を形成し、その溝又は段差の深さよ
- 20 りもやや高い高さの第2の加工補助具を前記溝又は段差にはめ込み、前記第2の加工補助具の内部の前記第1加工補助具の上面に圧電素子基板を設置し、前記圧電素子基板の上面にある上部ラッピングプレートと、前記第1の加工補助具の下面にある下部ラッピングプレートの、上下2枚のラッピングプレートを使用して研磨加工することにより、極く薄い圧電素子を製造することを特徴とする圧電素子の製造方法。
- 25 9. 前記第1の加工補助具の上面に形成した溝又は段差に液体を入れ、この液体に、前記圧電素子基板下面の周囲が密着するように、前記圧電素子基板を載置し、前記液体の表面張力を利用するか、又は氷結させることで、前記第1の

加工補助具と前記圧電素子基板とを固着することを特徴とする請求項 8 記載の圧電素子の製造方法。

10. 前記第 1 の加工補助具の上面に載置した水を含ませた親水性薄板の上に、前記圧電素子基板を載置し、前記親水性薄板に含ませた水の表面張力を使用すること 5 で、前記第 1 の加工補助具と、前記圧電素子基板とを固着することを特徴とする請求項 9 記載の圧電素子の製造方法。

11. 前記第 1 の加工補助具に複数の孔を形成し、この孔に接着剤などの粘性物質を充填することで、前記圧電素子基板下面を前記粘性物質で密着させるか、又は真空の吸着力を使用して、前記第 1 の加工補助具と前記圧電素子基板とを、孔の面積だけで固着することを特徴とする請求項 8 記載の圧電素子の製造方法。10

12. 前記第 1 の加工補助具と第 2 の加工補助具を、松脂、パラフィン、澱粉糊又はその他の接着剤を使用して、固定することを特徴とする請求項 8 に記載の圧電素子の方法。

13. 前記第 1 の加工補助具の材質を硬質ガラス又は鉄などの金属とし、第 2 の加工補助具の材質を超鋼又は鉄又は硬質ガラス又はガラスに類似の素材としたことを特徴とする、請求項 8 ないし 12 のいずれかの項に記載の圧電素子の製造方法。15

14. 圧電素子基板の一面に化学的なエッチング加工を行って凹部を形成し、この凹部加工面とは反対面をイオンエッチング加工して前記凹部の底面の厚みを薄くし、この圧電素子基板の両面を機械加工で研磨することにより、前記イオンエッチング加工で発生した凹凸を除去すると共に前記凹部に凸レンズ状振動部を形成することを特徴とする圧電素子の製造方法。20

15. 圧電素子基板にマスクをかけてマスキングし、中心部分だけを RIE 加工、イオンミーリング、プラズマエッチング、又はその他の化学的な Wet エッティング手段を使用して凹部を形成することを特徴とする請求項 14 記載の圧電素子の製造方法。25

16. 加工補助具に圧電素子基板を保持させ、両面研磨加工機械を使用して、

一方の研磨面で圧電素子基板の一面を、もう一方の研磨面で加工補助具の一面を同時に研磨加工することで、両面研磨加工機械を片面研磨加工機械として使用する圧電素子の製造方法。

17. 5 四部を形成した圧電素子基板の表面又は裏面を加工補助具により保持し、両面研磨加工機械を使用して、一方の研磨面で圧電素子基板の凹部側の表面を、もう一方の研磨面で加工補助具の一面を、上と下から、同時に研磨加工する圧電素子の製造方法。
18. 10 圧電素子基板に凹部を加工し、凹部を加工した面を加工補助具を使用して保持し、両面研磨加工機械を使用して、一方の研磨面で凹部を加工した側と反対面を、もう一方の研磨面で加工補助具の一面を、上と下から、同時に研磨加工して、極く薄い圧電素子を加工する圧電素子の研磨加工方法。
19. 15 一面又は両面を、凹形状、Concavo-Convex 型形状又は Bi-Convex 型形状に加工した圧電素子基板を、両面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工し、極く薄い圧電素子を加工することを特徴とする圧電素子の製造方法。
20. 20 凹形状に加工した圧電素子基板の凹部の内部に、松脂又はパラフィン又はその他の樹脂を注入して、凹形状内部の強度を補強した圧電素子基板を研磨加工することを特徴とする請求項 19 記載の圧電素子の製造方法。
21. 25 加工補助具を、酸化セリウムなどの研磨剤では研磨されにくい、硬質ガラス、プラスチックス、又は超鋼又は鉄などの金属を使用して作り、加工補助具の一面の加工が出来にくいようにしたことを特徴とする請求項 16 ないし 18 のいずれかの項に記載の圧電素子の研磨加工方法。
22. 25 石英板に穴を形成したマスク板を、圧電素子基板の上に置いて、マスキングとして使用し、イオンエッチング加工を行い、圧電素子基板に凹部を形成することを特徴とする請求項 14 記載の圧電素子の製造方法。
23. 25 水晶などの圧電材料を、RIE 加工にて加工する場合、CF₄、CHF₃、又はC₂F₆などのフッ素系ガスとアルゴンガスの混合ガスを使用して、水晶などの表面精度の加工精度を高めることを特徴とする請求項 14 記載の圧電素

子の製造方法。

24. 壓電素子の中心部分に、細い金線を結線し、圧電素子に電圧を印加するための電極を形成する圧電素子の製造方法。

25. 一面は平板形状のままで、他の一面を凹形状に加工した水晶板を、両面 5 研磨加工機械を使用して、上と下から同時に研磨加工し、極く薄い圧電素子を 加工することを特徴とする圧電素子の加工方法。

26. 一面は平板形状のままで、他の一面を凹形状に加工した水晶板を、両面 研磨加工機械を使用して、上と下から同時に研磨加工することにより、平板形 10 状の側面方向である、外側にレンズ形状が飛び出した形状の Plano-Convex 型形 状、Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状に研磨加工する、圧電素子 の加工方法。

27. 凹形状を形成した水晶板を、金属又はその他の素材でできている加工補 助具の上に、そのままの状態でただ置くか、又は松脂、パラフィン等の接着剤 15 を使用して貼り付けた後、両面研磨加工機械を使用して、研磨面の片面で水晶 板の表面を研磨加工し、もう一方の片面で加工補助具の裏面を研磨加工するこ とにより、凹形状を形成して、水晶板の裏面だけを研磨加工することで、 Plano-Convex 型形状、Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状に研磨加 20 工する、圧電素子の加工方法。

28. 凹形状を形成した水晶板を、縦方向に穴を形成している加工補助具の上 20 に、そのままの状態でただ置くか、又は松脂、パラフィン等の接着剤を使用し て貼り付けた後、両面研磨加工機械を使用して、片面は水晶板の表面を研磨加 25 工し、もう一方の片面は加工補助具の裏面を研磨加工することにより、凹レン ズ形状を形成した、水晶板の裏面だけを研磨加工することで、Plano-Convex 型 形状、Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状に研磨加工する、圧電素 子の加工方法。

29. 機械的に研磨加工されている水晶板を、その後化学的な WET エッチング 加工又は RIE 加工を行って、極く薄く加工を行う工程で、WET エッチング 加工又は RIE 加工で発生するダメージ層ないし加工変質層を、機械的な研

磨加工手段を使用して除去することを特徴とする圧電素子の加工方法。

30. 片面は凹レンズ形状で、もう一方の片面は凸レンズ形状が飛び出している形状に研磨加工を行う、圧電素子の加工方法。

31. 片面は凹レンズ形状で、もう一方の片面は、凸レンズ形状の部分だけが
5 平面形状から飛び出している、片面が凹レンズ形状で、もう一方の片面が凸レンズ形状をしている圧電素子。

32. 水晶板の凹レンズ形状の振動部分の口径に対する厚さの比を10から3
50、好ましくは30から150程度にする、圧電素子の加工方法。

33. 円筒形状の工具保持具に、ポール砥石を、主軸側の円筒形状又はその他の
10 形状をした磁石の磁気誘導を使用して吸着保持させる場合、工具保持具で吸着保持される部分だけが、ダイヤモンド砥粒が電着固定されていないポール砥石を使用することにより、ダイヤモンド砥粒の太さに関係なく、工具保持具に対するポール砥石の縦及び横方向の中心軸を常に不動とする、圧電素子の製造方法。

15 34. 円筒の中央部に圧電効果を有する材質からなる受圧面を形成し、その受圧面に、一対の電極を形成したことを特徴とする音響-電気変換器。

35. 円筒と受圧面が、圧電効果を有する一体の材質である請求項34記載の
音響-電気変換器。

36. 前記受圧面に、円筒の左右から進入した空気振動が、中央部分にて共鳴
20 することが出来るように、受圧面の外周部分に穴又は空間部分を形成して、中
心部分に位置する受圧面を、より強く振動させるようにしたことを特徴とする
請求項34又は35記載の音響-電気変換器。

37. 圧電効果を有する材質からなる丸棒の両端部分から、それぞれ研削手段
を用いて円筒形状の穴を開け、前記丸棒の中央部に所定の厚みの受圧面を形成
25 し、その受圧面に外部の空気振動を増幅した電気信号を得るための一対の電極
を設けることを特徴とする音響-電気変換器の製造方法。

38. 研削手段は、樽状の砥石の表面に溝を形成し、その溝に空気又は液体を
噴射することで前記砥石を回転させるか、またはその他の機械的な手段を使用

して、前記樽状の砥石を回転させるものである請求項3 7記載の圧電素子の加工方法。

3 9. 真球に近い鋼球を使用して、樽状の砥石を形成する請求項3 7または3 8記載の音響-電気変換器圧の製造方法。

5 4 0. 圧電効果を有する材質からなる丸棒の一方の端部を把持して同丸棒の軸線の周りに回転させる加工機械と、前記丸棒の他方の端部から同丸棒の軸線方向に移動して円形の穴を開ける加工工具とを備え、この加工工具は、先端に樽状の砥石を高速回転させる駆動手段を備えていることを特徴とする音響-電気変換器の製造装置。

10

15

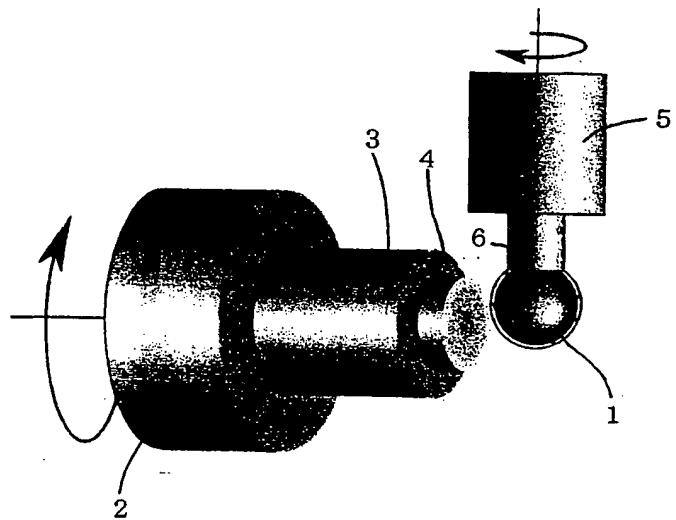
20

25

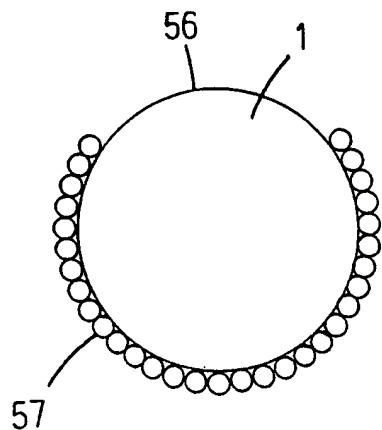
1/82

Fig.1

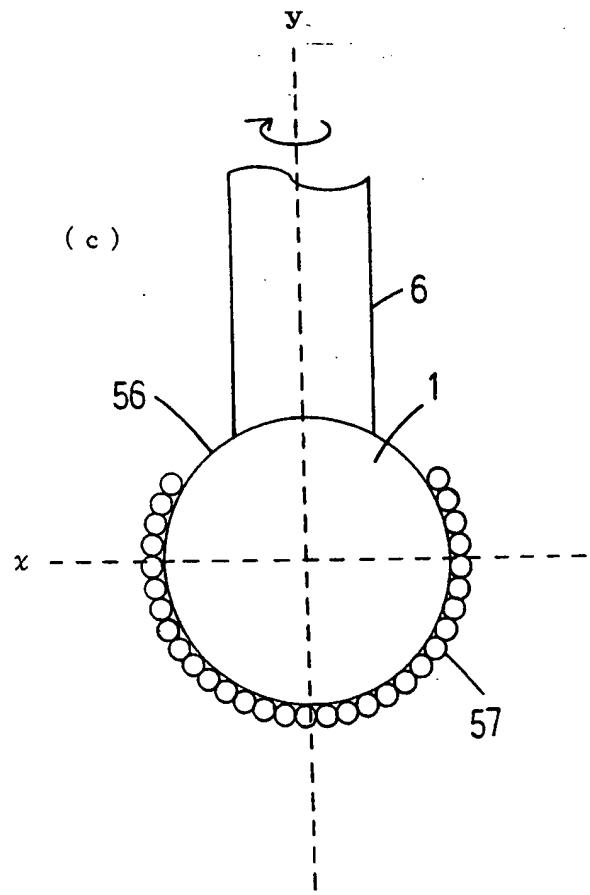
(a)

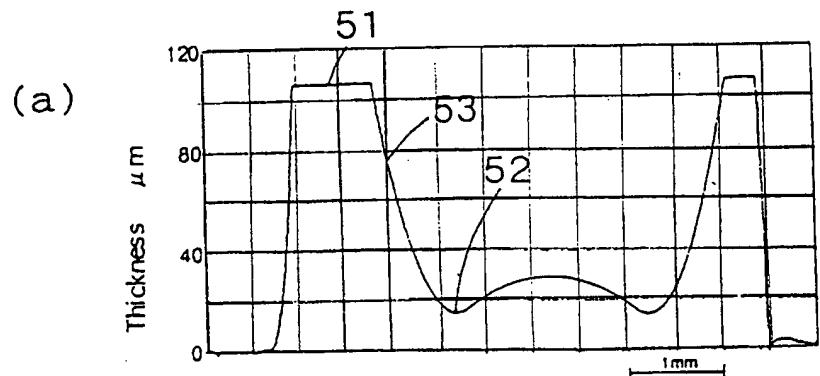


(b)

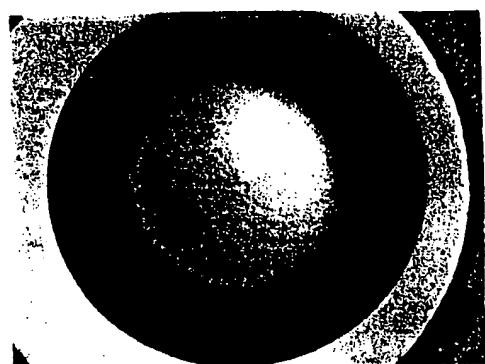


(c)

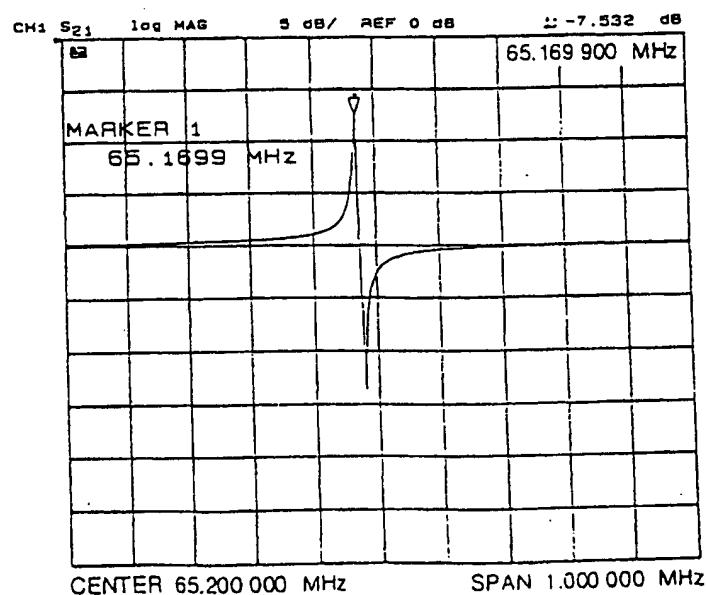


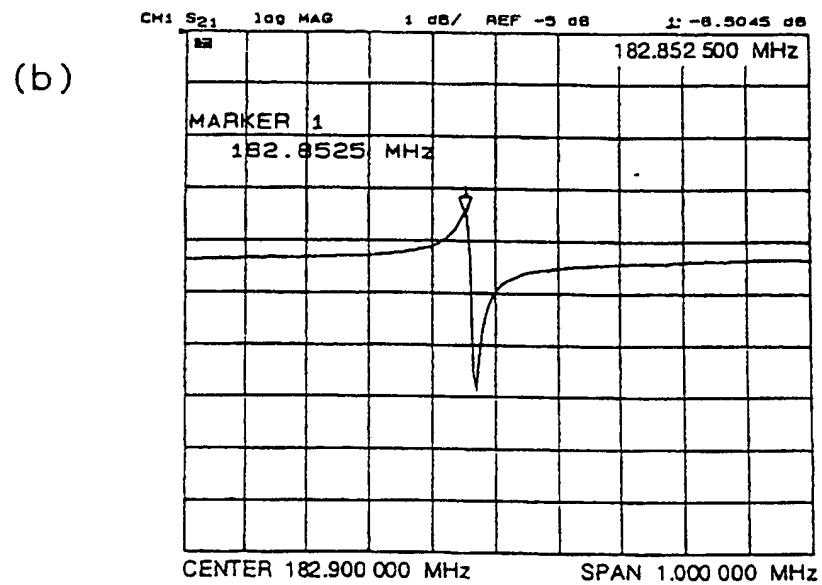
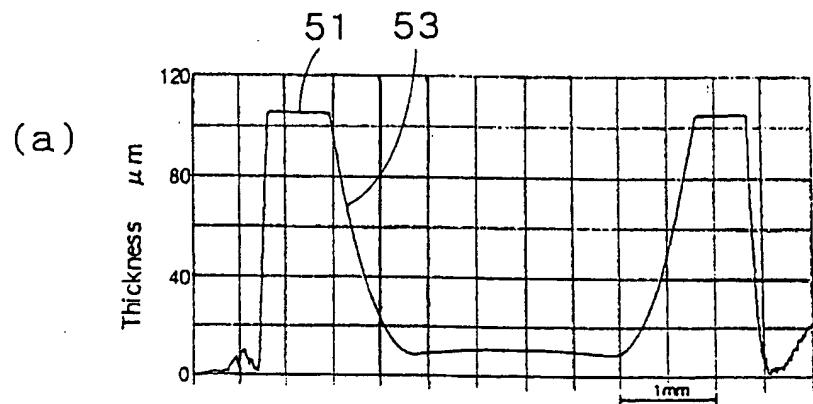
2/82
Fig.2

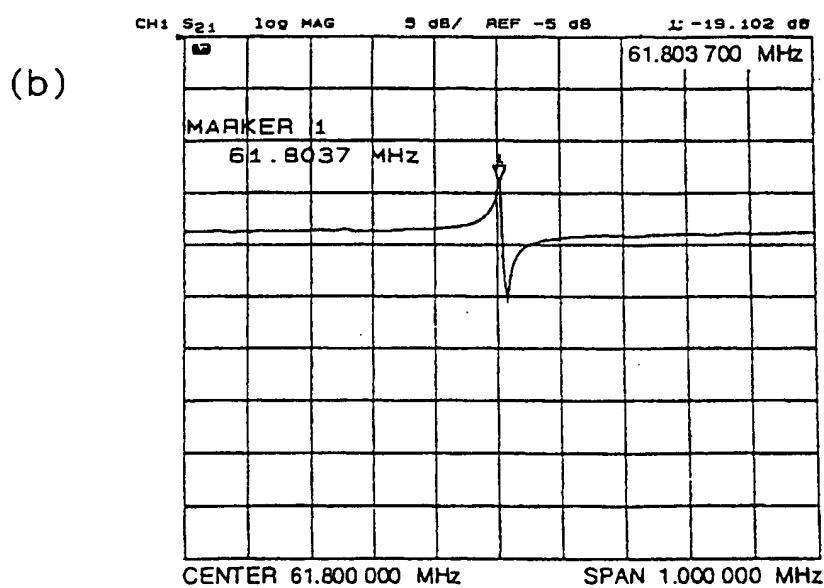
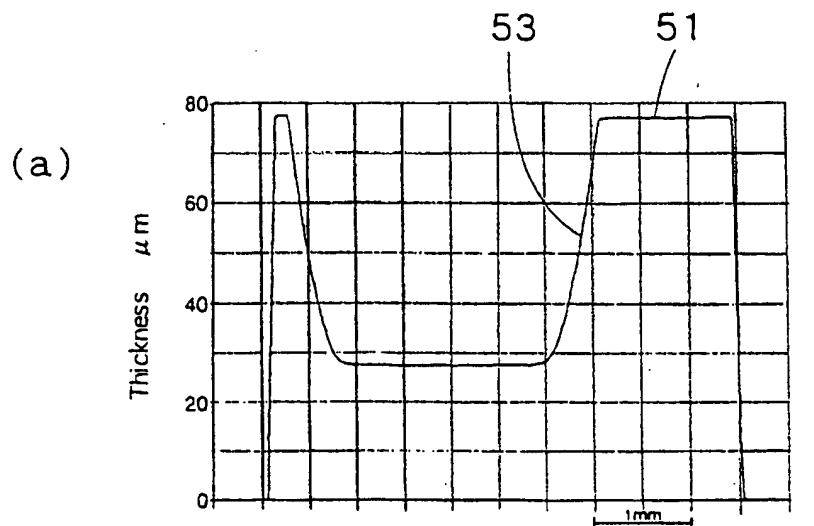
(b)

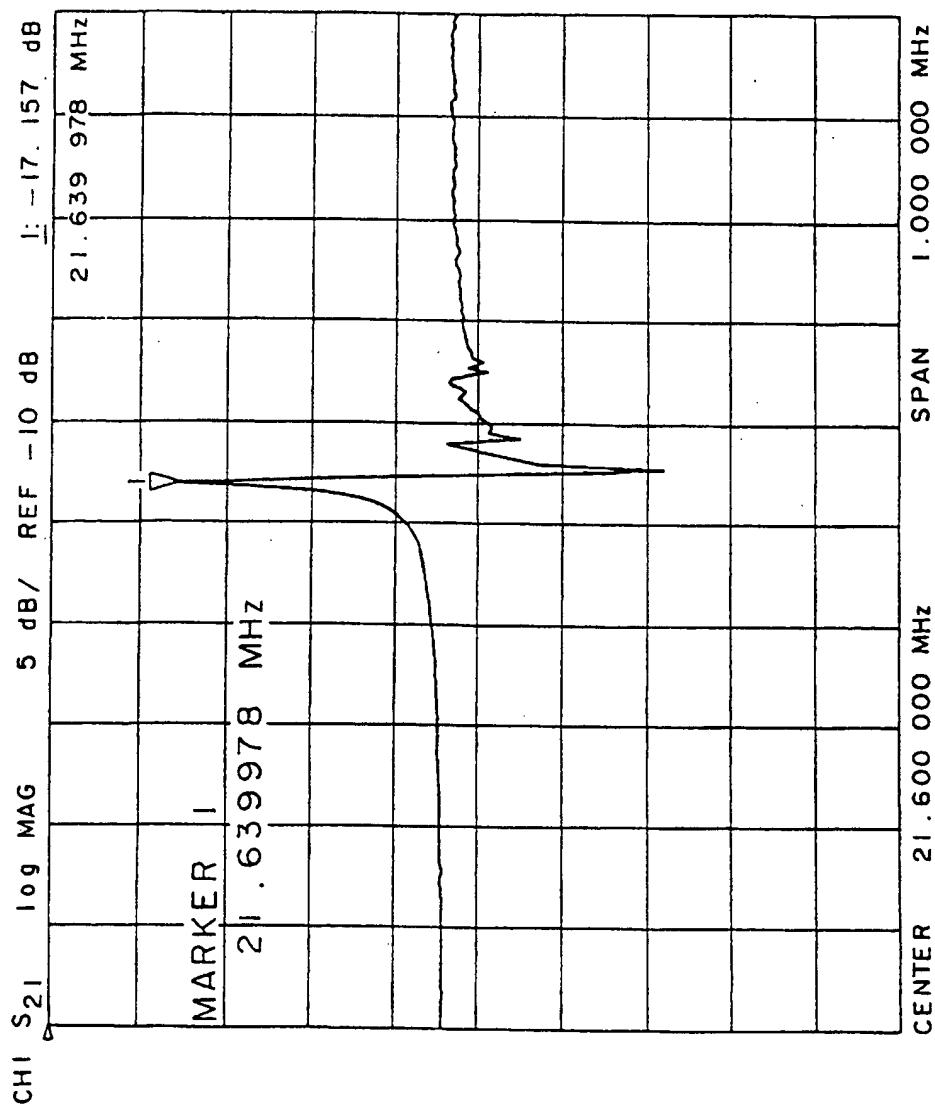


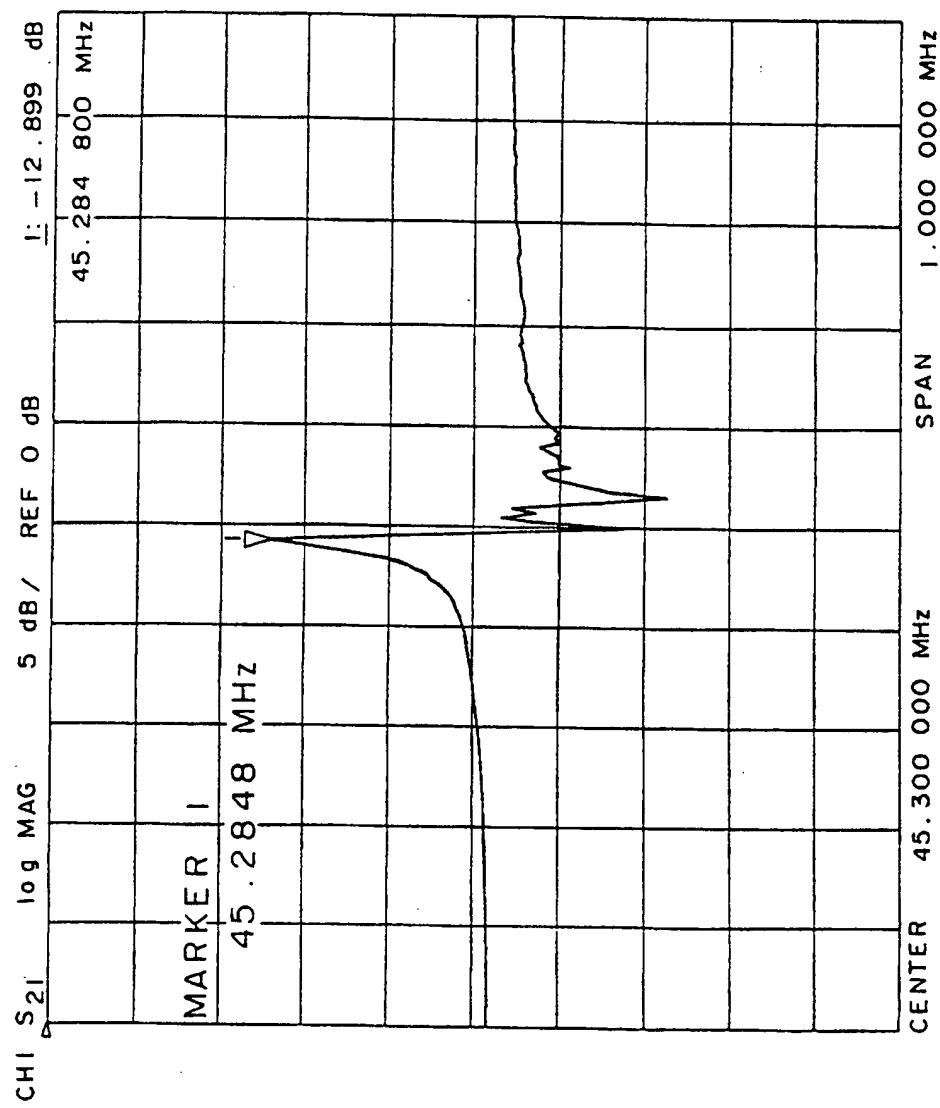
(c)



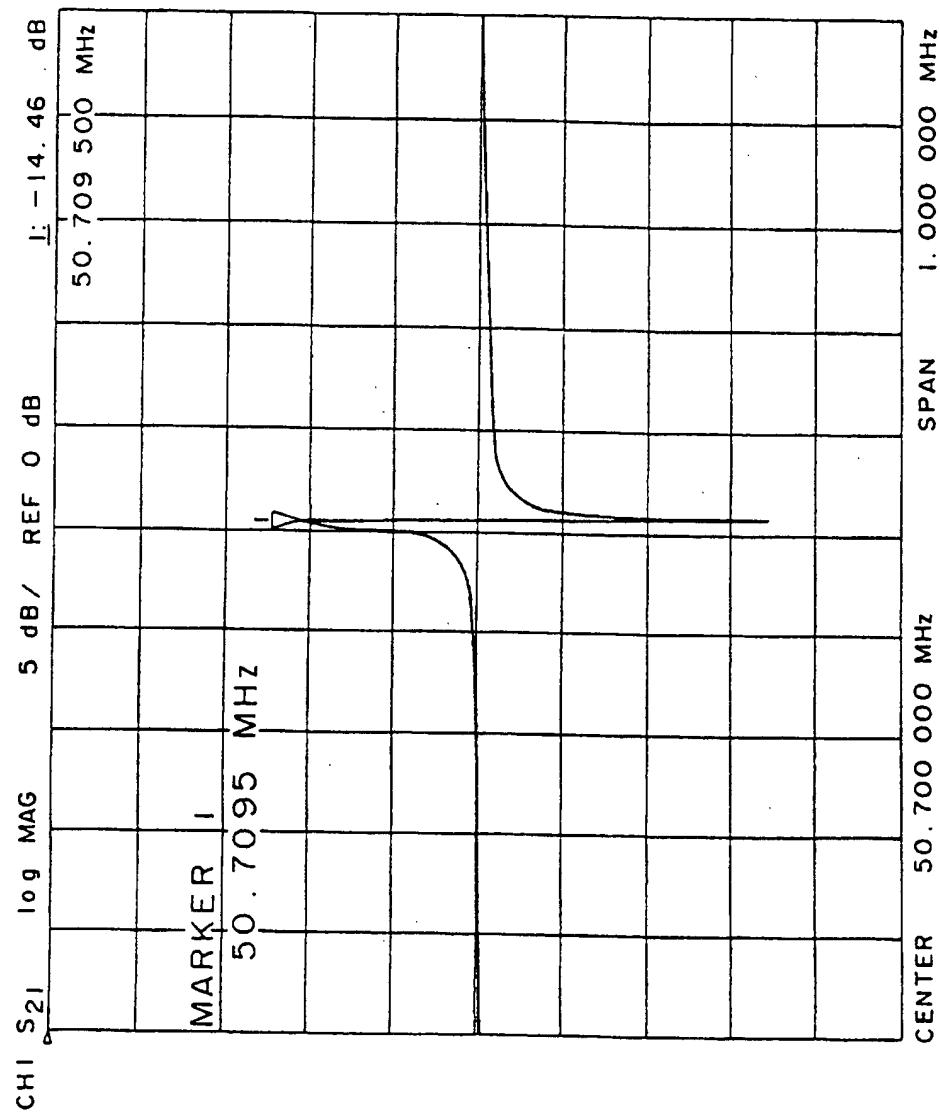
3/82
Fig. 3

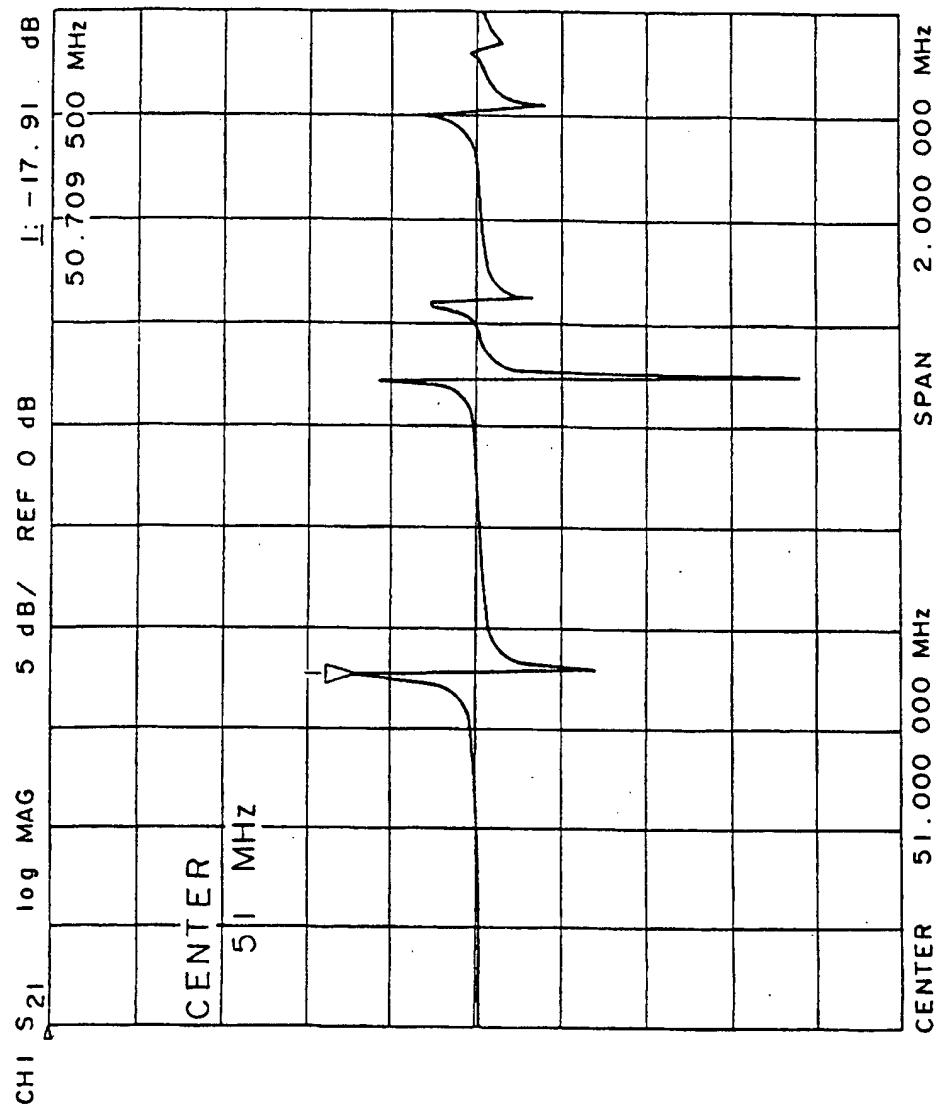
4/82
Fig.4

5/82
Fig.5

6/82
Fig.6

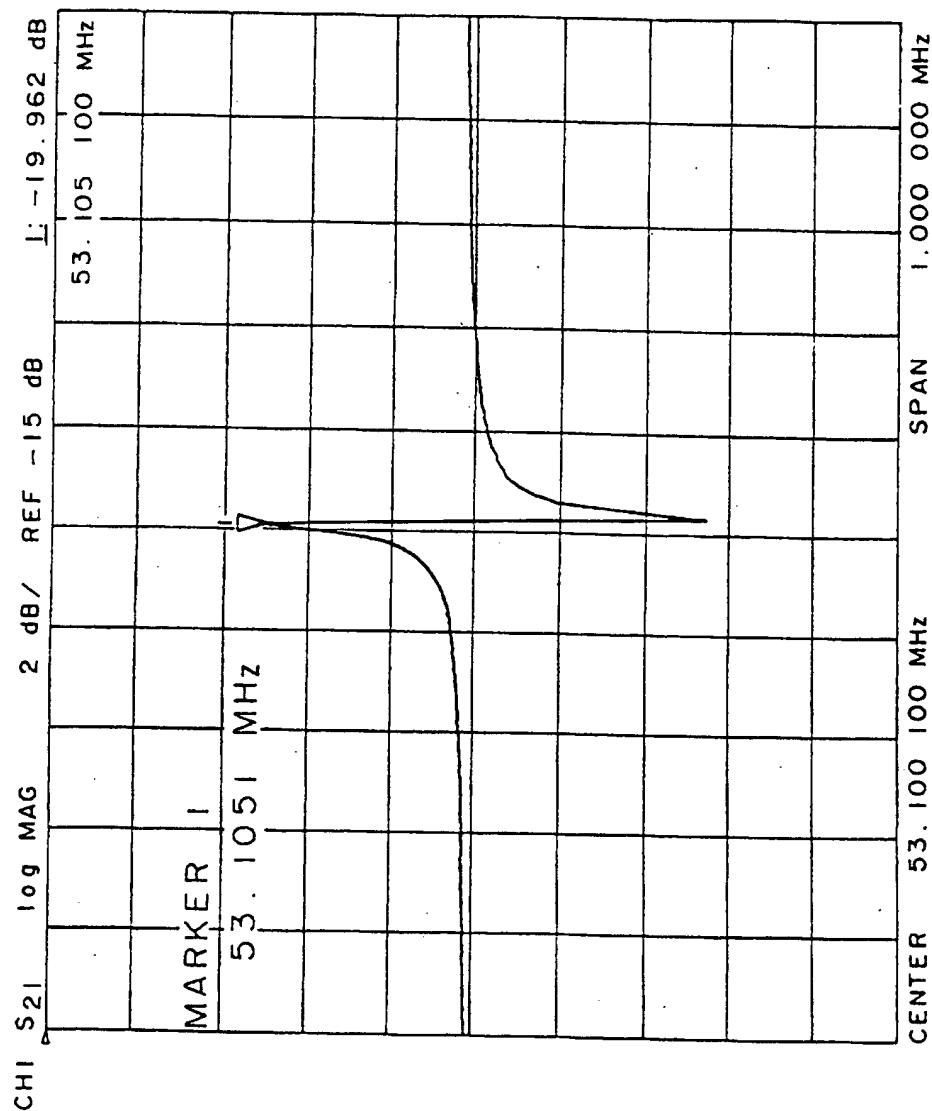
7/82
Fig.7



8/82
Fig.8

9/82

Fig.9



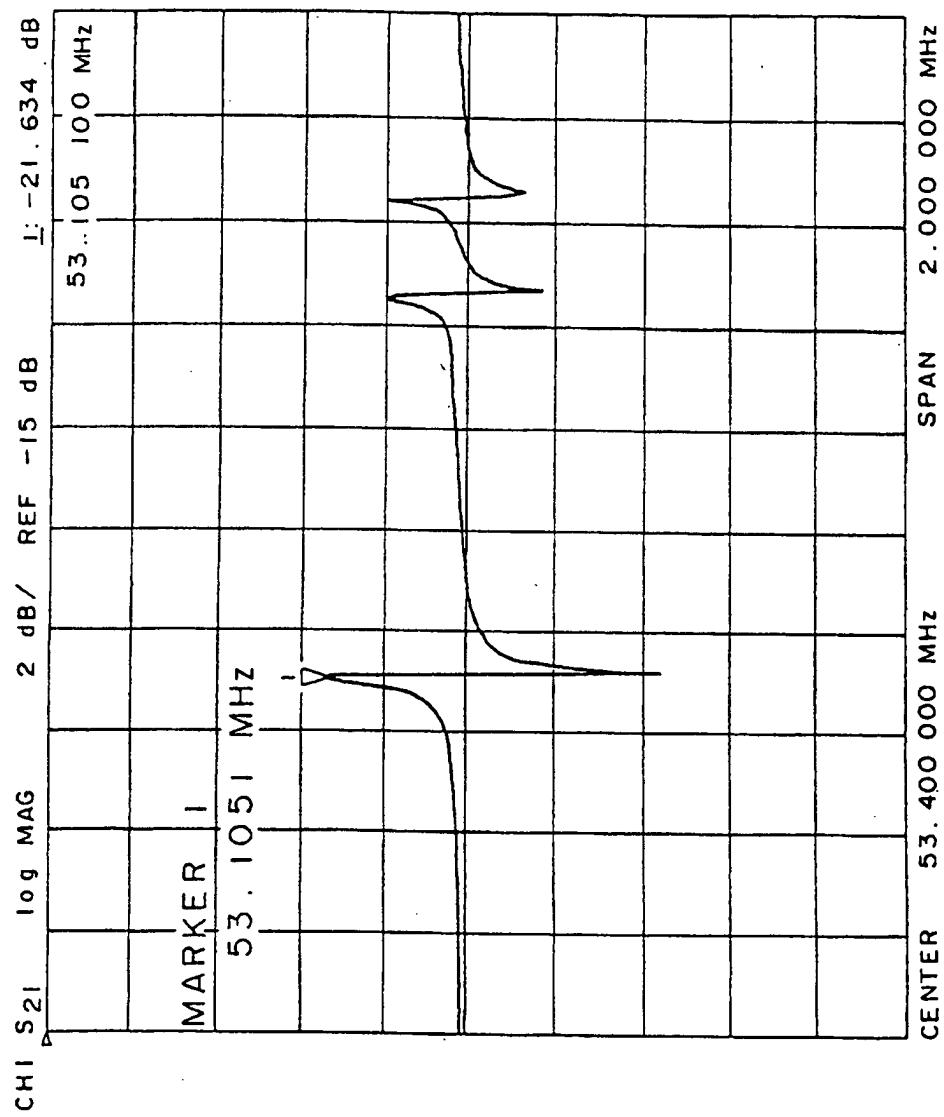
10/82
Fig. 10

Fig. 11

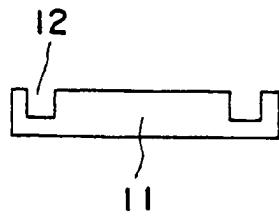
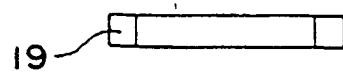


Fig. 12



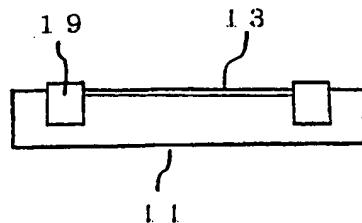
11/82
Fig.13

Fig.14

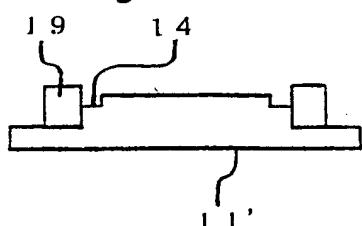


Fig.15

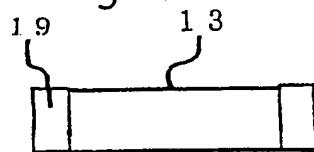
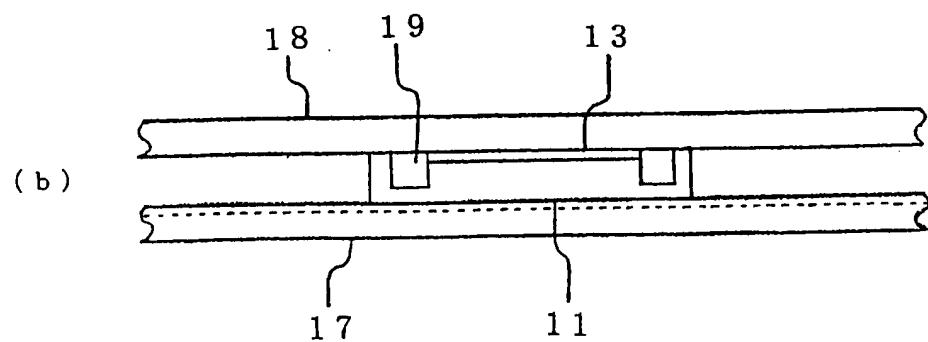
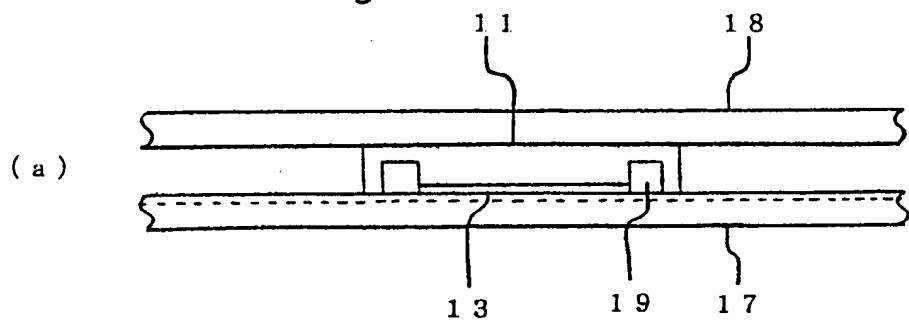


Fig.16



12/82

Fig.17

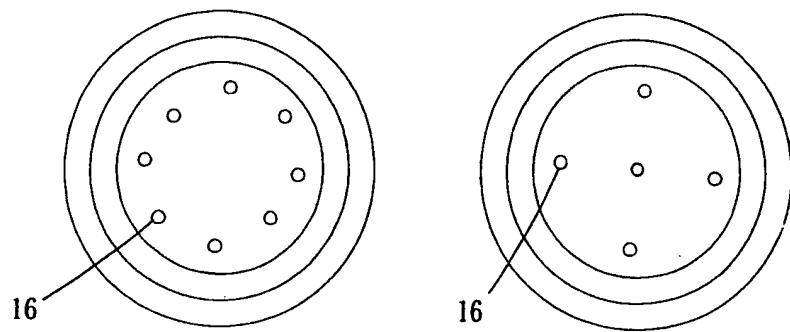


Fig.18

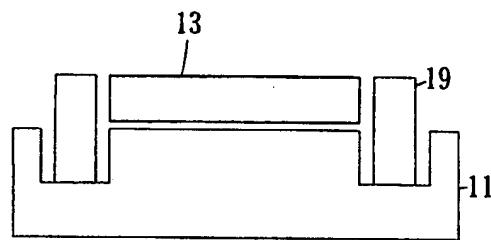
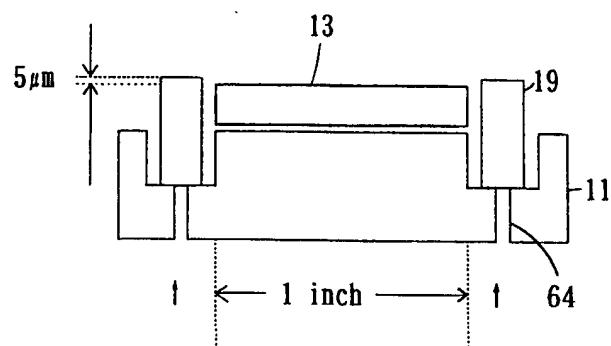


Fig.19



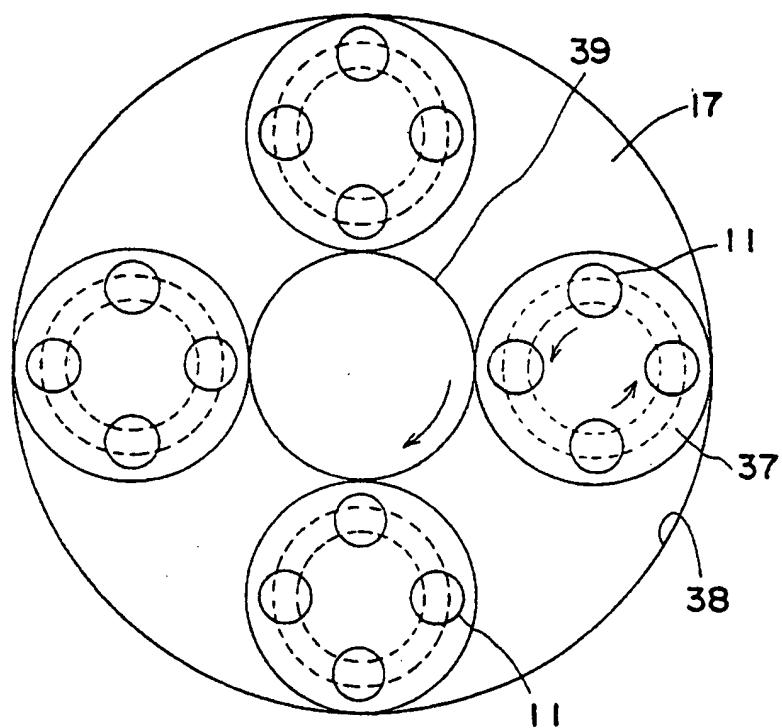
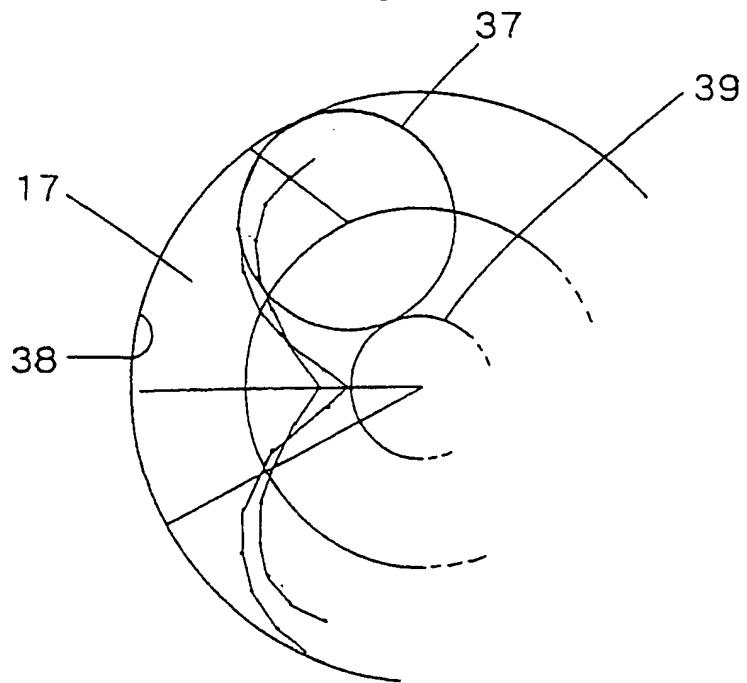
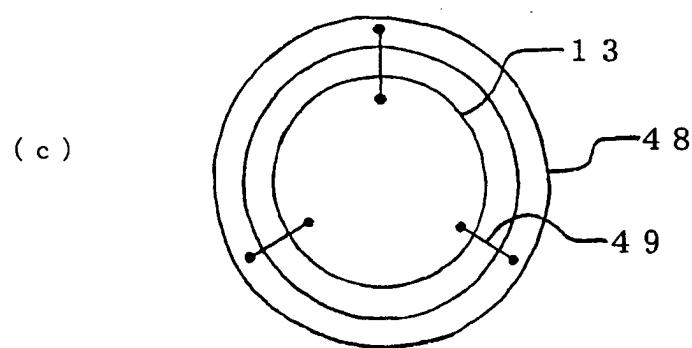
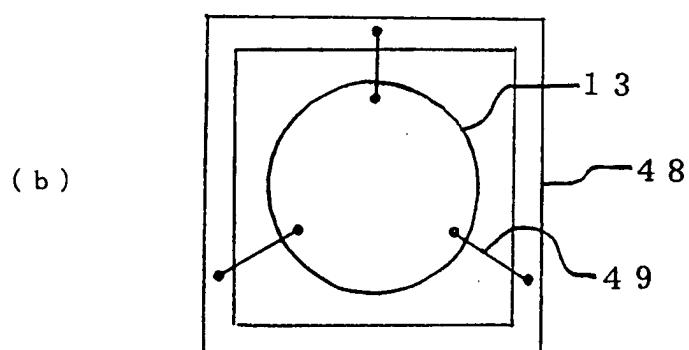
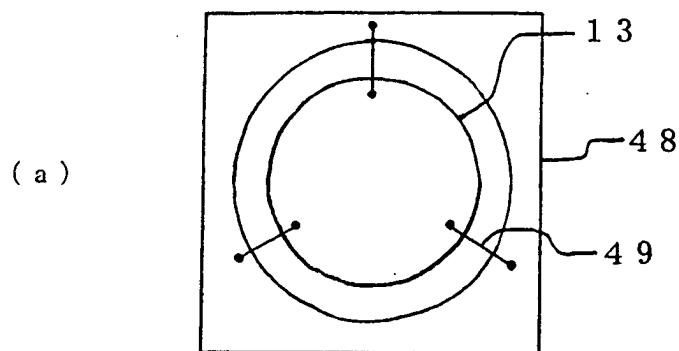
13/82
Fig.20

Fig.21



14/82

Fig.22



15/82

Fig.23

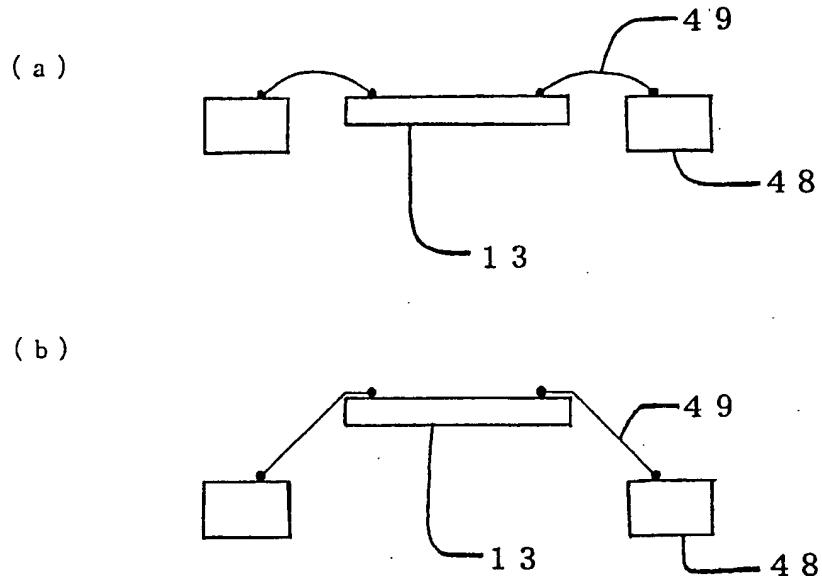
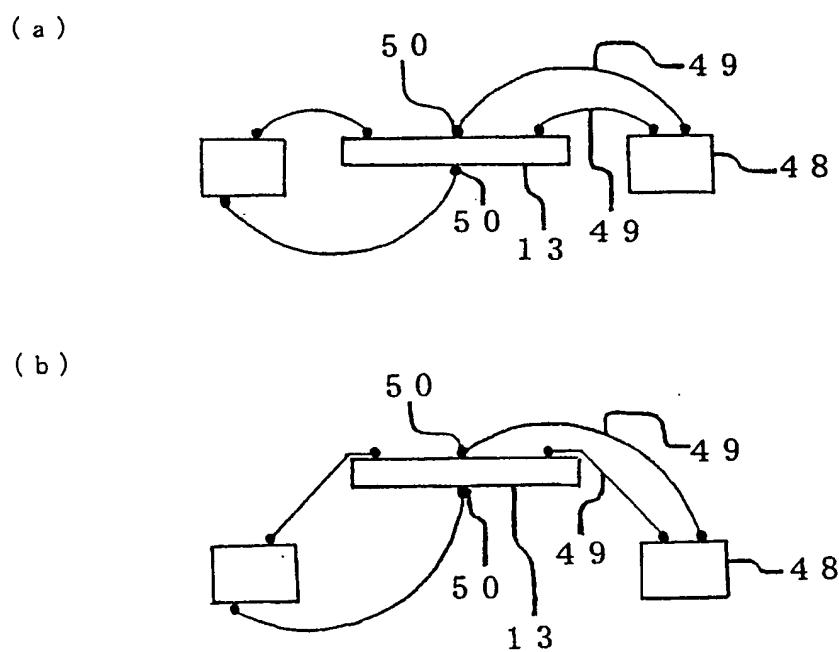


Fig.24



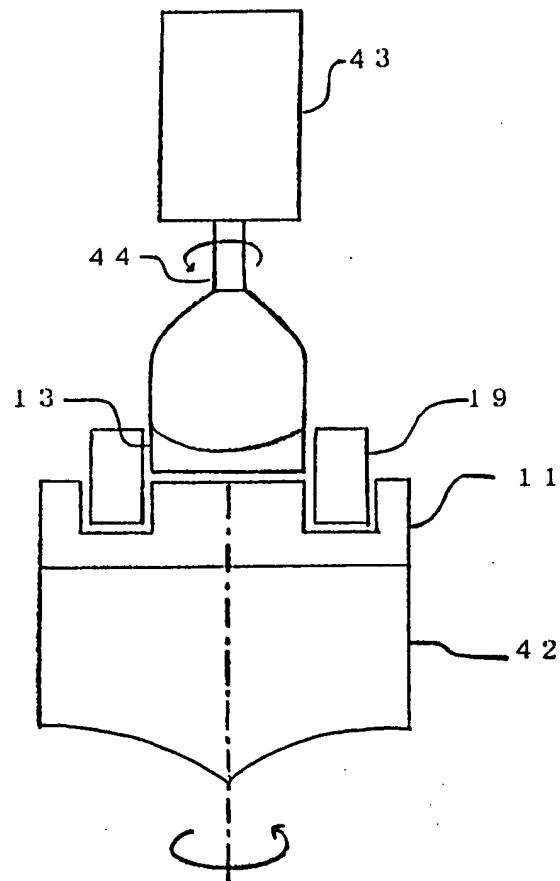
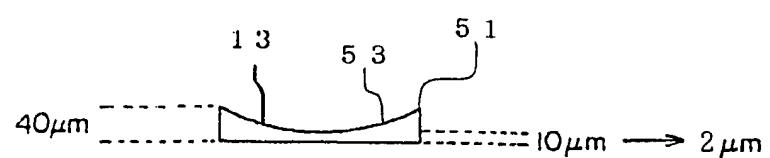
16/82
Fig.25

Fig.26



17/82

Fig.27

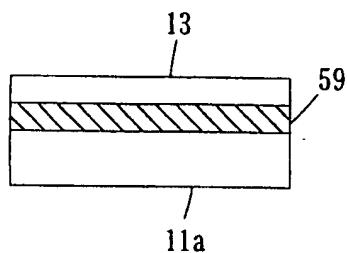


Fig.28

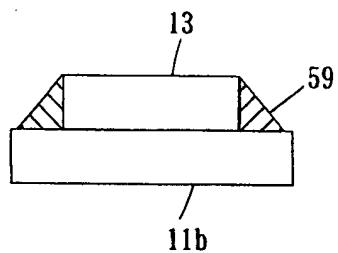
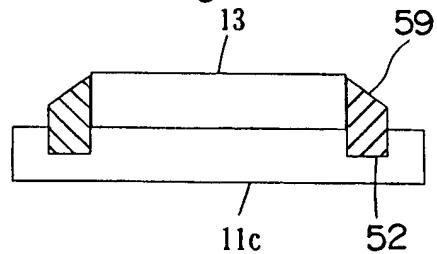


Fig. 29



18/82
Fig. 30